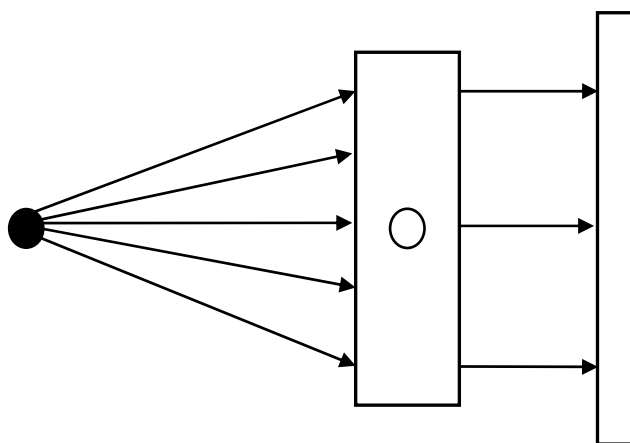


Г.С. КОРМИЛЬЦИН

ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА ХИМИЧЕСКОГО ОБРУДОВАНИЯ



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

Г.С. КОРМИЛЬЦИН

ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА ХИМИЧЕСКОГО ОБРУДОВАНИЯ

Утверждено Ученым советом ТГТУ
в качестве учебного пособия



Тамбов
Издательство ТГТУ
2007

УДК 66.02/08.002.72
ББК Л11-5-08я73
К66

Рецензенты:

Доктор технических наук,
заведующий кафедрой «Автоматизированное конструирование
машин и аппаратов» Московского государственного университета
инженерной экологии
А.С. Тимонин;

Кандидат технических наук,
председатель научно-технического совета
ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова»,
главный инженер
В.А. Богуш

Кормильцин, Г.С.

К66 Основы диагностики и ремонта химического оборудования : учеб. пособие / Г.С. Кормильцин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. –120 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0668-4.

Рассмотрены современные методы диагностики и ремонта химического оборудования. Приведен мультимедийный комплекс по ремонту и монтажу технологического оборудования.

Предназначено для студентов технических вузов 5, 6 курсов дневной и заочной форм обучения.

УДК 66.02/08.002.72

ББК Л11-5-08я73

ISBN 978-5-8265-0668-4

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2007

Учебное издание

КОРМИЛЬЦИН Геннадий Сергеевич

ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Редактор Т.М. Г л и н к и н а

Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. З о т о в а

Подписано в печать 21.12.2007

Формат 60 × 84 / 16. 6,87 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 824.

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

История развития техники и общества показывает, что оценка результатов создания промышленных объектов менялась [1]. Вначале от создателей технических устройств требовалось обеспечение абсолютной эффективности от объекта, затем относительной, удельной и, наконец, экономической. Такие принципы приводили к негативным последствиям: тяжелые условия труда, аварии, напряженность в обществе, необратимые изменения в окружающей среде. Поэтому при создании технического объекта и его эксплуатации необходимо ориентироваться на гуманитарную эффективность. Это особенно важно при разработке и эксплуатации опасных промышленных объектов.

Предприятия независимо от их организационно-правовых форм собственности, эксплуатирующие опасные производственные объекты, в своей деятельности должны руководствоваться Федеральными законами и нормативными положениями, которые и направлены на предупреждение аварий и локализацию их последствий при создании и эксплуатации опасных производственных объектов. В связи с этим, в первую очередь, необходимо отметить Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. и «Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов» ПБ 03-517-02.

В последние десятилетия техногенные катастрофы и аварии в нашей стране и за рубежом, повлекшие большие человеческие жертвы, заставили резко изменить отношение к проблеме безопасности населения и окружающей среды. Как отмечается в работе [2], основные причины роста числа аварий и катастроф – это критический уровень износа оборудования, нарушение производственной и технологической дисциплины, ослабление государственных органов контроля и управления, а также недостаточный уровень правовой и экологической культуры.

Условиями безопасной эксплуатации являются диагностика и своевременный ремонт оборудования. В данном учебном пособии рассматриваются методы неразрушающего контроля и диагностики, наиболее широко применяемые в химической промышленности. На основе полученных данных при диагностировании технических объектов и принимаются решения о необходимости проведения ремонта оборудования и способах восстановления его работоспособности. Эти мероприятия могут быть реализованы высококвалифицированными инженерными кадрами.

Настоящее учебное пособие поможет студентам технических вузов изучить основы диагностики и ремонта технологического оборудования опасных производственных объектов. Для интенсификации процесса изучения этих основ к пособию прилагается мультимедийный комплекс на компакт-диске. В мультимедийном комплексе рассматриваются элементы монтажа оборудования, поскольку объем пособия не позволяет сделать это, а также представлены некоторые работы по ремонту зданий. Последнее объясняется тем, что работы по ремонту производственных зданий часто входят в обязанности инженера-механика химических производств.

Автор выражает благодарность профессору М.А. Промтову и ассистенту Л.А. Воробьевой за помощь при подготовке рукописи данного пособия.

1. ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Для оценки технического состояния оборудования используются все виды проникающих физических полей, излучений и веществ (магнитных, радиационных, рентгеновских, акустических и других) для реализации неразрушающих методов контроля и диагностики. Неразрушающие методы контроля подразделяются на оптические, магнитные, электрические, вихревые, радиоволновые, тепловые, радиационные, акустические и проникающих веществ [2].

1.1. ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Основные понятия. Для получения достоверной информации о состоянии диагностируемого объекта используют несколько методов неразрушающего контроля. В программе, по которой проводят диагностирование аппарата или машины, визуально-оптический контроль стоит обычно первым пунктом. Этот контроль основан на анализе взаимодействия оптического излучения с объектом контроля и главным контролируемым прибором. Если дефекты оборудования определяются только с помощью глаз человека, то имеет место визуальный контроль, при котором можно определять остаточную деформацию, поверхностную пористость, крупные трещины, риски, эрозионные и коррозионные поражения и т.п. Если человеческий глаз «вооружен» контрольными оптическими приборами, которые значительно расширяют пределы естественных возможностей зрения, то в данном случае имеет место визуально-оптический контроль оборудования.

Возможности человеческого глаза ограничены. Так, разрешающая способность зрения, т.е. способность различать мелкие детали изображения, зависит от яркости, контраста, цветности и времени наблюдения объекта контроля. Яркость – величина, характеризующая силу свечения объекта, измеряемую в канделах с помощью яркомеров. Контраст – свойство объекта выделяться на окружающем фоне из-за различия их оптических свойств. Эта величина максимальна в белом или желто-зеленом свете при яркости $0 \dots 100 \text{ кд/м}^2$, высоком контрасте объекта ($k > 0,5$) и времени наблюдения $5 \dots 20 \text{ с}$. Контрастность определяется по формуле:

$$k = (B_o - B_\phi) / (B_o + B_\phi),$$

где B_o и B_ϕ – яркости объекта в областях дефекта и фона [2].

Важным для человеческого глаза является контрастная чувствительность, т.е. минимальная обнаруживаемая разность яркостей объекта и фона [3]:

$$k' = (B_o - B_\phi) / B_o.$$

Обычно минимальное значение $k' = 0,01$ при $B_o = 10 \dots 100 \text{ кд/м}^2$. При $k' > 0,5$ чувствительность считается большой, при $0,2 < k' < 0,5$ – средней. Естественно, что восприятие контролируемого объекта наиболее отчетливо при максимальном контрасте фона и объекта.

На остроту зрения также влияет иррадиация, т.е. кажущееся увеличение размеров светлых предметов на темном фоне [4]. При нормальной освещенности это явление повышает остроту зрения, но снижает разрешающую способность глаза

Это приводит, например, к тому, что тонкая трещина при цветном контроле легко обнаруживается, но две параллельные трещины будут восприниматься как одна.

Острота зрения зависит также и от соотношения цветов контролируемого объекта и фона. Поэтому при цветной и люминесцентной дефектоскопии применяют соотношения: а) желтый – зеленый на темном фоне; б) красный – на белом.

Малая трудоемкость и простота контроля – основные преимущества этого метода. Но визуально-оптический контроль характеризуется недостаточно высокой достоверностью и чувствительностью из-за субъективности операторов. Кроме того, с ростом кратности (увеличения) оптических приборов сокращаются поле зрения и глубина резкости, а, следовательно, снижаются производительность и надежность контроля. Поэтому для визуально-оптического контроля в основном применяют оптические приборы увеличением не более $20...30\times$ [3].

Эти факторы и определили области применения визуально-оптического метода:

- поиск поверхностных дефектов (эрозийных и коррозионных повреждений, трещин, открытых раковин, пор и др.);
- обнаружение мест разрушений элементов конструкций, остаточных деформаций, удаленных элементов объекта, загрязнений;
- определение типа и характера дефектов, обнаруженных другими методами дефектоскопии (ультразвуковым, цветным и др.).

1.1.1. Основные приборы визуально-оптического контроля

При всех условиях эксплуатации оптические приборы должны обеспечивать работоспособность и заданный предел точности измерений. Кроме того, оптические приборы должны иметь:

- удобное расположение окуляров;
- малую массу и возможность быстрого перевода в рабочее состояние и обратно.

В общем случае функционирование приборов визуально-оптического контроля базируется на следующей структурной схеме: осветитель – приемник излучения – сканатор объекта – блок обработки сигнала и управления (микропроцессор, ПЭВМ и т.д.). Эта схема может значительно упрощаться, например, в случае визуального и измерительного контроля: естественное освещение – простейший оптический прибор (лупа) – контролер.

В качестве искусственных источников света используют: газоразрядные, тепловые, люминесцентные и лазерные. В газоразрядных источниках используется эффект свечения газов при электрическом разряде, яркость их составляет $10^6...10^8$ кд/м². Наиболее употребимы при оптическом контроле тепловые источники света – лампы накаливания, яркость их составляет $10^5...10^7$ кд/м².

Оптические приборы по виду приемника излучения условно делят на три группы [3]: визуальные, детекторные и комбинированные. Если основным приемником лучистой энергии является глаз – это визуальные приборы. Если приемником лучистой энергии являются химические реагенты (фотоэмульсии), люминесцирующие вещества, электронные устройства, то это детекторные приборы. Если обзор объектов контроля осуществляют и визуально и с помощью детектора, то это комбинированные приборы [3].

К визуальной группе приборов относятся лупы, микроскопы, эндоскопы; а также измерительные приборы: штангенциркули, щупы, индикаторные толщиномеры, радиусные шаблоны, линейки, угломеры, уровни и т.д. Эти приборы и инструменты используют при проведении визуального и измерительного контроля оборудования [4, 5].

Самым простым и удобным оптическим средством контроля является лупа. В дефектоскопии часто используют накладные (контактные) измерительные лупы, например, ЛИЗ- $10\times$. Они состоят из плоской стеклянной линейки (длиной 15 мм и с ценой деления 0,1 мм), накладываемой на объект контроля.

Для контроля деталей и их дефектов используют измерительные микроскопы. Они содержат набор измерительных шкал, расположенных в плоскости микрообъектива, что позволяет определять линейные размеры дефектов с точностью $0,5...1$ мкм при увеличении $10\times...20\times$. Эти данные приведены для микроскопа типа МОВ- $15\times$. Для микроскопов данного типа поле зрения составляет $1...20$ мм. Для наблюдения прямого объемного изображения объекта в отраженном и проходящем свете служат микроскопы типа МБС, которые могут обеспечивать увеличение до $100\times$ при постоянном рабочем расстоянии равном 100 мм.

Рассмотренные выше лупы и микроскопы предназначены для контроля расположенных близко объектов наблюдения. Для контроля удаленных объектов при необходимости используют оптические приборы прямого зрения: бинокли, телескопические зрительные трубы и т.д. Эти приборы предназначены для визуального контроля силовых элементов конструкций, дымовых труб, находящихся в пределах прямой видимости.

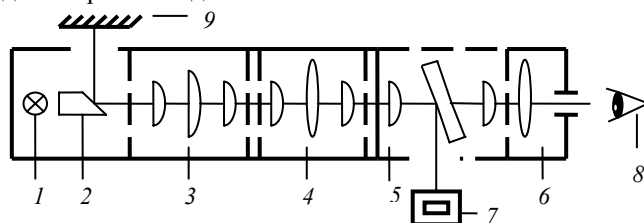


Рис. 1.1. Схема линзового эндоскопа

В процессе диагностирования технологического оборудования необходимо контролировать внутренние поверхности полых устройств, а также проводить осмотр труднодоступных мест деталей, трубопроводов и т.п. В этих случаях используют оптические приборы, которые называются эндоскопами или бороскопами.

В основе конструкции эндоскопа лежит оптическая система, которая позволяет передавать изображение участка осмотра на значительное расстояние (до нескольких метров). Эндоскопы подразделяются на линзовые, оптоволоконные и ком-

бинированные. Увеличение линзовых эндоскопов достигает $5\times$. Современные приборы такого типа позволяют обнаружить не только размер дефекта, но и глубину его с точностью 0,02 мм.

Линзовый эндоскоп конструктивно выполнен в виде цилиндра, внутри которого находятся все элементы прибора. Схема линзового эндоскопа представлена на рис. 1.1 и включает в себя эти элементы: источник света 1; призмную или зеркальную насадку 2, которая может изменять направление и размеры поля зрения; систему линз объектива 3; передающую систему линз 4; окуляр 5; сменную систему линз 6, которая может служить для увеличения рабочей длины эндоскопа или подключения телевизионной системы наблюдения 7. На схеме также изображен глаз наблюдателя 8 и объект контроля 9.

Сменные призмные насадки 3 позволяют производить наблюдения с кольцевым полем обзора или с боковым направлением визирования. Прибор снабжен шкалой для определения места положения дефекта. Обычно эндоскопы имеют жесткую конструкцию, но есть приборы, которые имеют гибкие участки корпуса, изгибающиеся в пределах $5\dots 10^\circ$. Линзовые эндоскопы предназначены для обнаружения трещин, царапин, выбоин и других дефектов размерами 0,03...0,08 мм в изделиях длиной до 10 м и диаметром от 5 мм и более [2].

В последнее время широкое применение в технике находят эндоскопы на основе оптических волокон (рис. 1.2 и 1.3). Элементарный световод представляет собой светопроводящую нить диаметром 10...20 мкм. Эта нить покрыта снаружи тонким слоем (1...2 мкм) материала, который имеет более низкий показатель преломления. Лучи света, падающие на открытый торец такого волокна, благодаря полному внутреннему отражению на границе раздела световод – оболочка, будут проходить в итоге вдоль волокна до противоположного торца. Ниже на рис. 1.2 приведена схема волоконно-оптического измерителя зазоров и смещений [2].

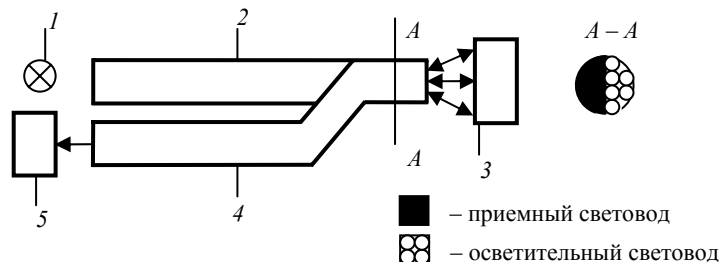


Рис. 1.2. Схема волоконно-оптического измерителя:
1 – источник света; 2 – световод осветительный; 3 – объект контроля;
4 – световод приемный; 5 – приемник изображения

Другим преимуществом волоконно-оптических эндоскопов является то, что источник света находится вне зоны контроля объекта, а это исключает нагрев этой зоны. Схема гибкого волоконно-оптического эндоскопа показана на рис. 1.3.

Многие типы волоконно-оптических эндоскопов имеют механизмы дистанционной фокусировки объектива и изгиба передней части прибора.

Следует отметить, что по качеству изображения волоконно-оптические эндоскопы уступают линзовым, но позволяют передавать изображение без искажения при любом их изгибе.

1.1.2. Организация визуально-оптического контроля (на примере визуально-измерительного)

Диагностика технологического оборудования визуальным методом, как и другими методами, регламентируется нормативными инструкциями. Рассмотрим для примера основные положения и порядок проведения визуального и измерительного контроля материала и сварных швов согласно инструкции [5]. Этот контроль осуществляется до выполнения диагностики другими методами. Визуально-измерительный контроль проводится по программе, состав которой представлен также в инструкции [5].

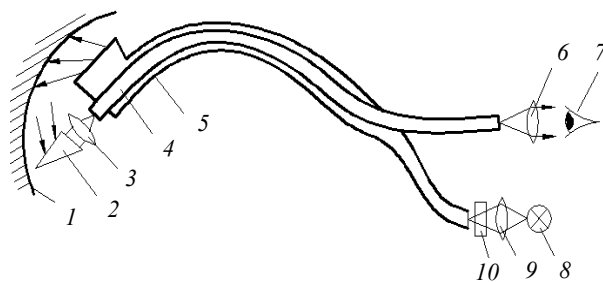


Рис. 1.3. Схема гибкого эндоскопа [2]:
1 – объект контроля; 2 – призма; 3 – линза объектива; 4 – световод изображения;
5 – световод освещения; 6 – окуляр; 7 – система регистрации (глаз, фотокамера);
8 – источник света; 9 – линза; 10 – тепловой фильтр

Выполнение визуального и измерительного контроля по возможности организовывают на специальных участках, которые оборудованы для удобства выполнения работ столами, стендами, роликоопорами и т.п. Визуальный и измерительный контроль габаритного оборудования и сооружений осуществляется на месте их установки. При этом обеспечивается операторам удобный доступ к контролируемым местам: сооружают леса, подмости, люльки, передвижные вышки.

Освещенность контролируемых поверхностей должна быть не менее 500 лк. Для увеличения контрастности контролируемых объектов рекомендуют окраску стен, потолков, рабочих столов и стенов делать в светлых тонах: белых, голубых, желтых, светло-зеленых, светло-серых. Объект контроля должен рассматриваться под углом более 30° и с расстояния не далее 600 мм.

Подготовка контролируемых поверхностей заключается в следующем:

- эксплуатируемое оборудование после сброса давления в нем, прекращения работы, дренажа, охлаждения отключается от другого оборудования;
- покрытия (изоляция), которые препятствуют контролю материала и швов, снимаются в местах, указанных в программе технического диагностирования;
- зона контроля подлежит зачистке от ржавчины, окалина, грязи, краски, масла, влаги и других загрязнений, препятствующих контролю.

В качестве примера рассмотрим диагностику сварных соединений. Ширина зачистки кромок деталей при сварке (дуговой, газовой и контактной) составляет не менее 20 мм с наружной стороны и не менее 10 мм с внутренней от кромок разделки деталей. При электрошлаковой сварке ширина зачинок не менее 50 мм с каждой стороны сварного соединения. Способы очистки контролируемой поверхности указаны в соответствующих нормативных документах. Чаще всего применяют при этом промывку, механическую зачистку, обдув сжатым воздухом, протирку. При зачистке толщина стенки контролируемого участка не должна уменьшаться за пределы минусовых допусков и не должны возникать при этом дефекты: риски, царапины и т.п. Зачищенные зоны должны иметь шероховатость не более Rz 80 [5].

Целью визуального контроля металла и сварных швов является выявление дефектов: коррозии, трещин, расслоений, вмятин, раковин, пор, западаний между валиками шва, шлаковых включений. Целью измерительного контроля является определение размеров дефектов, выявленных при визуальном контроле. Сварные швы контролируются через каждый метр их длины и определяют следующие размеры:

- поверхностных дефектов (пор, трещин, включений и т.д.);
- ширины и высоты шва, а также выпуклости обратной стороны шва (в случае доступности);
- высоты углублений между валиками и чешуйчатости поверхности шва;
- длины и глубины подрезов основного металла;
- катета углового шва;
- переломов осей свариваемых цилиндрических элементов.

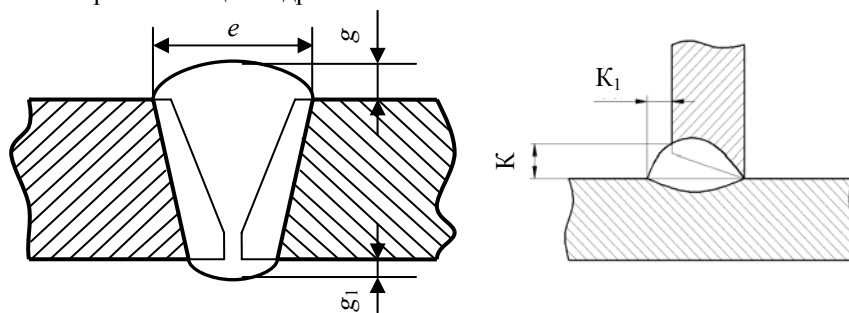


Рис. 1.4. Схема замеров сварного шва и его дефектов

Эти размеры рекомендуют [5] измерять с помощью штангенциркуля и шаблона согласно схемам, представленным на рис. 1.4.

На этих схемах показаны следующие измеряемые величины: e — ширина шва; g — высота шва; K , K_1 — катеты углового шва. Эти контролируемые величины должны удовлетворять требованиям нормативных документов на свариваемое изделие [5].

Часто визуальному и измерительному контролю подвергаются сварные конструкции и особенно трубные элементы. Например, измерительный контроль тройников, фланцевых соединений, отводов, коллекторов и т.д. включает проверку:

- размеров перекосов осей цилиндрических элементов;
- отклонения привариваемой трубы от перпендикулярности относительно корпуса или другой трубы;
- отклонения осей концевых участков сварных секторных отводов;
- прогиба трубы сварных угловых соединений труб;
- прямолинейности образующей изделия;
- отклонения оси прямых блоков от проектного положения;
- отклонения габаритных размеров сварных деталей и блоков.

На рис. 1.5 и 1.6 представлены некоторые перечисленные выше отклонения и их измеряемые параметры.

Буквенные и цифровые обозначения отклонений даны в соответствии с нормативными данными [5].

Кроме перечисленных отклонений измерительному контролю подвергаются гнутые участки труб и при этом проверяются: отклонения от круглой формы (овальность); толщина стенки в растянутой части гнутого участка трубы; радиуса гнутого участка трубы; высоты волнистости (гофры) на внутреннем гнутом участке трубы; предельные отклонения габаритных размеров.

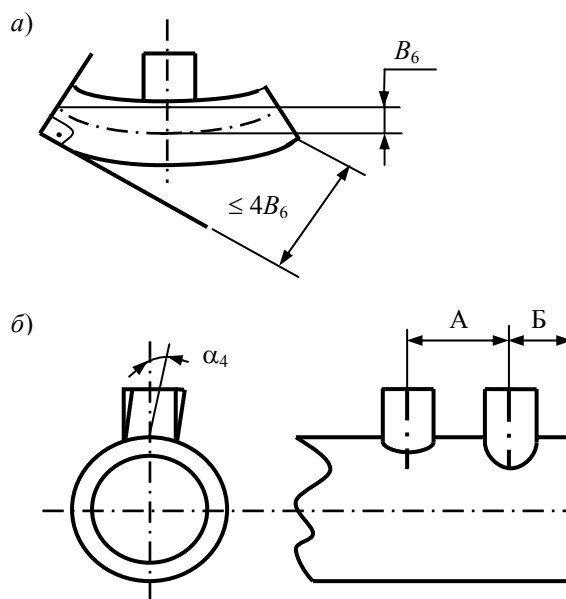


Рис. 1.5. Схемы измерения отклонений трубных деталей и блоков:

a – отклонение (перелом) оси тройника сварного (B_6);

б – отклонение штуцеров от проектного положения (α_4) и размеры расположения штуцеров по длине трубы (А и Б)

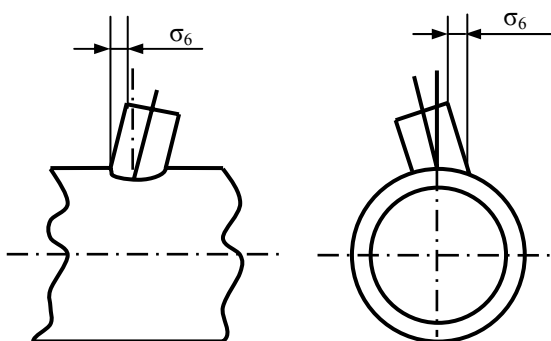


Рис. 1.6. Измерение отклонения (σ_6)

от перпендикулярности наружной поверхности штуцера

Овальность гнутой трубы определяется в соответствии с нормативными документами на объекты контроля по следующим формулам [5]:

$$A = 2(D_{\max} - D_{\min}) / D_{\max} - D_{\min};$$

$$A = (D_{\max} - D_{\min}) / 2 \quad \text{или} \quad A = (D_{\max} - D_{\min}) / D_{\text{ном}},$$

где D_{\max} и D_{\min} – максимальное и минимальное значения наружного диаметра трубы (измерения выполняются в поперечном сечении детали), имеющего наибольшие отклонения; $D_{\text{ном}}$ – номинальное значение наружного диаметра трубы. Если при замерах используется рулетка, то определение этих диаметров проводится по формуле:

$$D = (P/\pi) - 2\Delta t - 0,2,$$

где P – длина окружности, измеренная рулеткой, мм; Δt – толщина ленты рулетки; $\pi = 3,1416$.

Результаты визуального и измерительного контроля оформляются актами [5].

**Контрольные вопросы к разделу
«Визуально-оптический контроль»**

1. От каких факторов зависит разрешающая способность зрения?
2. В чем заключаются преимущества и недостатки визуально-оптического метода по сравнению с другими методами неразрушающего контроля?
3. Какова структурная схема визуально-оптического контроля?
4. На какие группы делятся оптические приборы по виду приемника излучения?
5. Какие оптические приборы используют для контроля внутренних поверхностей полых устройств?

6. В чем заключаются преимущества и недостатки волоконно-оптического эндоскопа по сравнению с линзовым?
7. Каков порядок проведения визуально-измерительного контроля?
8. Какова цель визуально-измерительного контроля конструкционного металла и сварных швов?
9. Какие инструменты применяют для контроля сварных швов?
10. Какие дефекты сварных конструкций определяют с помощью визуально-измерительного контроля?

1.2. РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Неразрушающий контроль оборудования радиационными методами основан на способности ионизирующих излучений проникать (рис. 1.7) через конструкционные материалы (оптически непрозрачные) с той или иной степенью ослабления в зависимости от свойств изделия и воздействовать на регистрирующее устройство (детектор).

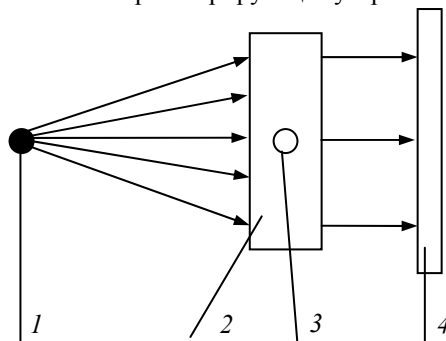


Рис. 1.7. Схема радиационного «просвечивания»:
 1 – источник ионизирующего излучения; 2 – контролируемый элемент;
 3 – дефект; 4 – детектор

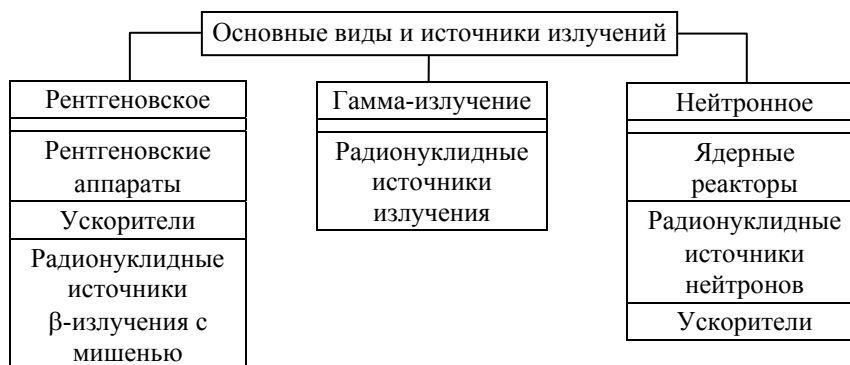


Рис. 1.8. Классификация источников ионизирующих излучений

Основные виды источников излучения условно делят на три группы [2]. На рис. 1.8 представлена классификация источников излучения.

Для диагностики технологического оборудования, сооружений и трубопроводов чаще всего используют рентгеновское и гамма-излучение.

1.2.1. Физические основы радиационных методов контроля

В настоящее время для реализации радиационных методов контроля используют до десяти видов ионизирующих излучений. Широкое распространение нашли два: гамма- и рентгеновское излучение. Такие ионизирующие излучения, как радиоволны, ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, видимый свет, являются по природе своей электромагнитными колебаниями, но с малой длиной волны $0,3 \dots 5 \times 10^{-5}$ нм [6].

Ионизирующее излучение объясняется изменением энергетического состояния атома. Для гамма-излучения применяют радионуклиды (радиоактивные изотопы), которые получают бомбардировкой стабильных атомов нейтронами, α -частицами и протонами. Например, нейтрон, который не имеет заряда и не обладает большой энергией, легко проникает в атомные ядра, вызывая их перегруппировку с образованием искусственного радионуклида того же элемента.

Радиоактивные изотопы являются источниками рентгеновского, α -, β - и гамма-излучений, потока нейтронов и позитронов. Основными видами распадов естественных и искусственных радионуклидов считают α - и β -распады, электронный захват и изомерный переход [6].

Радионуклид при α -распаде испускает α -частицы (ядра гелия). В случае β -распада один нейтрон ядра превращается в протон. Этот процесс сопровождается испусканием электрона или позитрона и антинейтрино (β -частицы).

В случае электронного захвата ядро захватывает электрон с одной из внутренних оболочек атома (чаще всего с ближайшей к ядру К-оболочки). При этом один из протонов ядра превращается в нейтрон, заряд ядра уменьшается на единицу и на К-оболочку переходит электрон с более удаленной оболочки. Такой электрон, обладая высокой энергией, при переходе на низший энергетический уровень побуждает атом излучать избыточную электромагнитную энергию.

В случае изомерного перехода имеет место радиоактивное превращение, при котором возбужденные радиоактивные ядра, полученные при α - и β -распадах, переходят в основное стабильное состояние. При этом возбужденное ядро также дает

электромагнитное излучение. Возникающее при ядерных распадах электромагнитное излучение называется гамма-излучением.

Ионизирующее рентгеновское излучение бывает двух видов – характеристическое и тормозное. Характеристическое рентгеновское излучение является следствием перехода возбужденных атомов в основное или менее возбужденное состояние.

Тормозное рентгеновское излучение является следствием взаимодействия кулоновского поля ядер и электронов, проходящих через вещество. При этом взаимодействии электроны испытывают торможение, кинетическая энергия их уменьшается и превращается в тормозное излучение.

1.2.2. Основные характеристики ионизирующих излучений

Рассматриваемые ниже характеристики ионизирующих излучений важны не только с точки зрения организации диагностики оборудования, но и с точки зрения обеспечения мероприятий по технике безопасности данного вида неразрушающего контроля.

Проникающая способность ионизирующих излучений зависит от плотности их энергии, т.е. от ее количества, приходящегося на единицу поверхности [6]. Количество энергии, проходящее за одну секунду через один квадратный метр поверхности, расположенной перпендикулярно направлению прохождения лучей, называется интенсивностью ионизирующего излучения.

Для точечного источника излучения характерно то, что интенсивность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния:

$$I_1/I_2 = (R_2)^2/(R_1)^2,$$

где I_1 и I_2 – интенсивности излучения источника, соответственно на расстояниях R_1 и R_2 .

Как отмечалось выше, характеристическое излучение является следствием перехода возбужденного атома в основное или менее возбужденное состояние. При каждом акте перехода излучается порция электромагнитной энергии, называемая квантом или фотоном:

$$E = E_1 - E_2 = h \nu,$$

где E_1 и E_2 – уровни энергий электронных оболочек, с которых и на которые переходят электроны при изменении состояния атома; ν – частота излучения; $h = 6,62 \times 10^{-27}$ эрг \times с – постоянная Планка.

Если учесть, что длина волны любого электромагнитного излучения связана с частотой следующим соотношением: $\lambda = c/\nu$, тогда можно записать $E = h c/\lambda$, где c – скорость фотона в вакууме ($c = 2,998 \times 10^8$ м/с).

Энергия фотонов у различных радиоактивных изотопов различна и колеблется в диапазоне $10^{-3} \dots 10^{-12}$ Дж. Внесистемной единицей энергии является электронвольт (1 эВ = $1,6 \times 10^{-19}$ Дж).

При взаимодействии ионизирующего излучения с веществом происходит поглощение энергии с переходом ее в другие виды энергии (в энергию других видов излучения).

Энергия, которая при излучении поглощается единицей массы облучаемого вещества, называется поглощенной дозой излучения и равна:

$$D = E/m,$$

где E – энергия, поглощаемая всем веществом; m – масса облучаемого вещества.

Кроме поглощенной дозы, используют понятие экспозиционной дозы. Эта доза характеризует ионизирующую способность излучения, за единицу измерения которой принят кулон на килограмм (Кл/кг). 1 Кл/кг – это доза гамма-излучения или рентгеновского излучения, которая создает в 1 кг сухого атмосферного воздуха ионы обоих знаков, несущие заряд в 1 Кл электричества. Внесистемной единицей экспозиционной дозы является рентген (1Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг).

Важной характеристикой ионизирующего излучения, кроме отмеченных выше, является его мощность. По аналогии с поглощенной и экспозиционной дозами вводятся понятия: мощность поглощенной дозы и мощность экспозиционной дозы, т.е. дозы в единицу времени. Мощность поглощенной дозы измеряется в Дж/кгс, а мощность экспозиционной в Р/с.

Характер ионизирующих излучений при взаимодействии их с материалом контролируемых объектов различен. Так, α -частицы обладают большой ионизирующей способностью и малой проникающей, поэтому они не применяются для просвечивания изделий. Проникающая способность β -частиц значительно выше, чем α -частиц. Быстрые β -частицы могут пройти слой алюминия толщиной 5 мм [3]. Ионизирующая способность их ниже, но в результате торможения β -частиц со значительной энергией в веществе с большим атомным числом возникает интенсивное тормозное рентгеновское излучение, которое необходимо учитывать при расчете защиты контролеров [3].

1.2.3. Оборудование для радиационных методов контроля

Для радиационного контроля используют различные типы ионизирующих излучателей: рентгеновские аппараты, гамма-дефектоскопы и различного рода ускорители электронов. Рассмотрим первые два типа, как наиболее широко применяемые.

Рентгеновские аппараты. Основным элементом этих аппаратов является рентгеновская трубка. Аппараты бывают двухэлектродные, с вынесенными и вращающимися анодами, секционированные, импульсные и двухфокусные. Чаще всего используют двухэлектродные трубки. Такие трубки представляют стеклянный баллон под вакуумом $10^{-6} \dots 10^{-8}$ мм рт. ст., в который впаяны электроды. Схема просвечивания такой трубкой представлена на рис. 1.9.

Стеклянный баллон помещен в защищенный кожух, заполненный охлаждающей изолирующей средой. В состав рентгеновского аппарата также входят источник высокого напряжения и контрольно-измерительные приборы.

Принцип действия аппарата следующий. Питающее напряжение от электросети подается на автотрансформатор. С помощью корректоров регулировки по вольтметру устанавливается требуемое напряжение в зависимости от свойств контролируемого объекта. Затем это напряжение подается на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. От него высокое напряжение (до нескольких сотен киловольт) подводится к электродам трубки. Кроме того, отдельно к спирали катода подводится низкое напряжение 2...12 В от специального трансформатора (на схеме условно не показан).

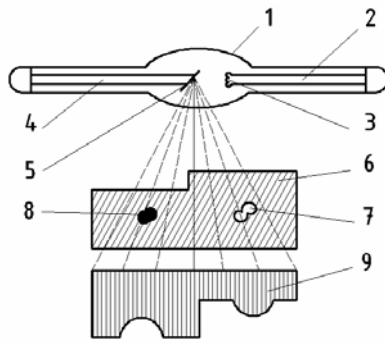


Рис. 1.9. Схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки:

1 – стеклянный баллон; 2 – катод; 3 – вольфрамовая спираль;
4 – анод (медный полый цилиндр); 5 – вольфрамовая мишень;
6 – объект контроля; 7 – раковина в объекте контроля;

8 – плотное включение; 9 – эюра интенсивности излучения за объектом

При накале из нити спирали вследствие термоэлектронной эмиссии вылетают электроны, которые специальным устройством (на схеме не показано) фокусируются в узкий пучок и под действием электрического поля с большой скоростью движутся к аноду. Электронный пучок, падая на мишень, тормозится ею. При этом возникает тормозное рентгеновское излучение, которое направляется на контролируемый объект [3].

Электронный пучок генерирует излучение на определенной площади мишени анода. Этот участок мишени называется действительным фокусным пятном рентгеновской трубки. Действительные фокусные пятна бывают прямоугольными и эллиптическими. В зависимости от диаметра пятна трубки бывают острофокусные (диаметр 100 мкм...1мм) и микрофокусные, когда диаметр пятна менее 100 мкм. Проекция фокусного пятна в направлении выхода лучей называется эффективным фокусным пятном [3].

По конструкции рентгеновские аппараты делят на стационарные, передвижные и переносные, а также кабельные и моноблочные. Для кабельных характерно наличие двух блоков: генератора высокого напряжения и рентгеновской трубки, соединенных между собой высоковольтным кабелем. В моноблочных эти элементы находятся в одном блоке. Моноблочные рентгеновские аппараты легче и компактнее кабельных.

Источниками ионизирующего излучения для *гамма-дефектоскопов* служат радионуклиды, которые в целях безопасности помещают в герметичные ампулы из нержавеющей стали или других материалов, исключающих попадание радиоактивных веществ в окружающую среду (рис. 1.10). Изотопы для гамма-дефектоскопов получают в ядерных реакторах облучением неактивных заготовок потоком нейтронов (^{60}Co , ^{192}Ir) или разделением остаточных продуктов ядерного горючего (^{137}Cs , ^{90}Sr), а также облучением неактивных заготовок (^{55}Fe , ^{54}Mn).

Изотопные источники характеризуются энергией излучения, мощностью экспозиционной дозы, активностью, периодом полураспада и величиной фокусного пятна (проекцией верхней активной части источника в направлении излучения) [3, 6].

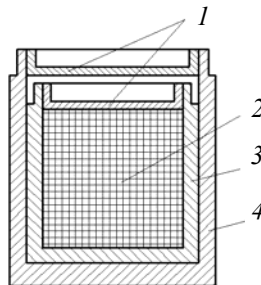


Рис. 1.10. Схема ампулы источника гамма-излучения (^{137}Cs):

1 – крышка; 2 – активная часть; 3 – внутренняя ампула; 4 – наружная ампула

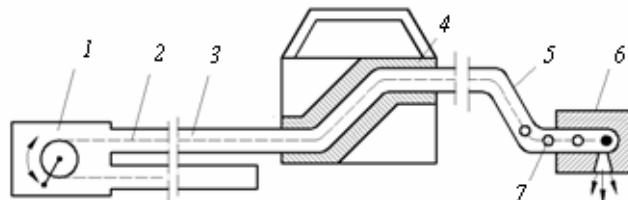


Рис. 1.11. Схема гамма-дефектоскопа шлангового типа:

1 – привод; 2 – подающий канал; 3 – соединительный шланг;
4 – радиационная головка; 5 – ампулопровод; 6 – копирующая головка;
7 – держатель источника излучения

Гамма-дефектоскопы. Важной характеристикой изотопных источников является мощность экспозиционной дозы. Она определяет величину экспонирования, т.е. производительность контроля, а также требования к конструкции защитных уст-

роЙств и технике безопасности. В процессе радиоактивного распада изотопа мощность экспозиционной дозы непрерывно убывает.

Гамма-дефектоскопы представляют собой устройства, которые позволяют манипулировать источниками при просвечивании объектов контроля и защищать при этом операторов от вредного воздействия излучений. Схема такого дефектоскопа представлена на рис. 1.11.

Гамма-дефектоскопы могут обеспечивать как направленное, так и панорамное излучение. Для формирования направленного пучка служат коллиматоры. Главной частью гамма-дефектоскопа является защитная радиационная головка 4, где размещается в нерабочем положении ампула с источником излучения. Ампула в рабочее положение подается по ампулопроводу 5 из радиационной головки в коллиматор 6 дистанционно с использованием ручного или электромеханического привода 1. В комплект дефектоскопа входит специальный магазин-контейнер, в котором находятся запасные источники различной мощности.

1.2.4. Детектирование при радиационном контроле

Как отмечалось выше, фиксирование дефектов в объекте контроля при просвечивании ионизирующими источниками производится одним из следующих трех способов детектирования (рис. 1.12): радиографическим, радиоскопическим или радиометрическим [2].

Радиографический способ наиболее распространен из-за простоты и документальности подтверждения результатов контроля. Способ основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись пленки. При электрорадиографии используют в качестве детектора полупроводниковую пластину, а в качестве регистратора – бумагу.



Рис. 1.12. Классификация способов детектирования

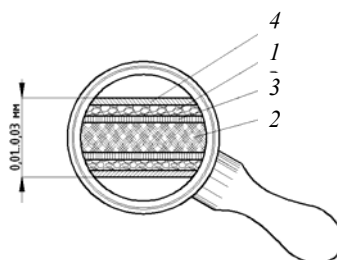


Рис. 1.13. Схема строения рентгеновской пленки:

1 – эмульсионный слой; 2 – подложка; 3 – подслои; 4 – защитный слой

Различают пленочную радиографию и электрорадиографию. В случае пленочной радиографии детектором и регистратором изображения служит фоточувствительная пленка. Основным детектирующим элементом такой рентгеновской пленки является фотоэмульсионный слой толщиной 0,01...0,03 мм, нанесенный на подложку. На рис. 1.13 представлен в увеличенном виде разрез пленки. При электрорадиографии используют в качестве детектора полупроводниковую пластину, а в качестве регистратора – бумагу.

Подложка 2 представляет собой гибкую прозрачную пленку из нитроцеллюлозы или ацетатцеллюлозы. Подслои 3 служат для плотного сцепления эмульсии 1 с подложкой и представляют собой специальный клей. С целью предохранения эмульсионных слоев от повреждений на них наносят слои желатина 4. Эмульсия состоит из желатина, в котором равномерно распределены кристаллы бромистого или хлористого серебра. От размеров этих кристаллов и степени однородного их распределения в эмульсионных слоях зависит зернистость пленки (мелкозернистые, среднезернистые и крупнозернистые).

При контроле объекта просвечиванием под действием излучения происходит ионизация зерен бромистого серебра с образованием атомов металлического серебра. Число этих атомов тем больше, чем больше интенсивность облучения. При проявлении экспонированной пленки эти атомы являются центрами восстановления и кристаллизации серебра [3]. Восстановленное серебро придает экспонированной пленке темную окраску. При фиксировании пленки из эмульсии удаляются неизмененные зерна бромистого серебра и в результате на пленке получаются почерневшие (восстановленное серебро) и светлые (удаленное бромистое серебро) участки. Для увеличения степени поглощения излучения (для большего почернения) эмульсионный слой наносят на подложку с двух сторон. Таким образом, если в контролируемом объекте дефект имеет меньшую плотность, чем основной материал, то на рентгеновском снимке этот дефект отобразится темным пятном, и наоборот.

Для характеристики и анализа рентгеновского снимка вводят понятие оптической плотности почернения. Эта величина и характеризует непрозрачность негатива. Она равна десятичному логарифму от отношения интенсивностей световых потоков, падающих на негатив, к интенсивности светового потока, прошедшего негатив. Оптическая плотность измеряется с помощью специального прибора – микрофотометра.

Основными характеристиками пленки являются чувствительность и контрастность. Чувствительность – это величина экспозиции, необходимая для достижения определенной оптической плотности почернения. Для достижения такой плотности тре-

буется экспозиционная доза от 0,001 до 0,01 Р. Контрастность – это разница в оптической плотности почернения наиболее темного и светлого соседних участков снимка. Также используют понятие разрешающей способности пленки, т.е. способности фиксировать раздельно различные штриховые линии одинаковой толщины на длине 1 мм.

Радиографический способ используется для различных источников излучения и при его применении можно просвечивать стальные изделия от 1 до 700 мм [2].

Радиоскопический способ основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в световое изображение на экране радиационно-оптического преобразователя. В процессе дефектации проводится анализ полученного изображения. Хотя чувствительность этого способа меньше, чем радиографического, данный метод экспрессивен, непрерывен и позволяет рассматривать объект контроля под разными углами (стереоскопическое видение).

Радиометрический способ основан на получении информации о внутреннем состоянии контролируемого объекта в виде электрических сигналов различной величины, длительности и количества. Этот метод позволяет автоматизировать процесс контроля, он отличается непрерывностью, высокой производительностью и не уступает по чувствительности радиографии [2].

Особо важным этапом диагностики радиационными методами является расшифровка результатов контроля. Расшифровку проводят наиболее опытные операторы-расшифровщики с применением современной техники.

Следует отметить, что радиационные методы неразрушающего контроля, как и другие, нормированы техническими руководящими документами и Государственными Стандартами [7].

1.2.5. Радиационная безопасность

В процессе проведения работ по радиационной дефектоскопии для обеспечения безопасности следует руководствоваться нормативными документами СПН 1171-74, СПН 2191-80, ОСЛ 72180 [6]. Операторы, работающие с источниками излучения, проходят специальную подготовку, сдают экзамены и должны иметь соответствующее удостоверение. Состояние здоровья операторов контролируется медицинской комиссией.

На организм оператора могут оказывать вредное влияние два вида воздействия излучений: внешнее (организм подвергается облучению от источника) и внутреннее (от радиоактивных веществ, попадающих внутрь организма).

Как правило, операторы подвержены внешнему облучению ионизирующими источниками. От величины поглощенной всем телом оператора дозы зависит изменение состояния организма [6]:

- до 25 рад – видимых изменений нет;
- 25...50 рад – возможны изменения в крови;
- 50...100 рад – нарушение нормальной работоспособности;
- 100...200 рад – возможна потеря трудоспособности;
- более 200 рад – возможен смертельный исход.

Ионизирующие излучения человеком не ощущаются, но поглощенные дозы суммируются организмом и в дальнейшем проявляются в соответствии с приведенными выше данными.

Чувствительность к ионизационному излучению органов человеческого тела различна. В порядке убывания чувствительности установлены три группы критических органов [6]: 1 группа – все тело, красный костный мозг; 2 группа – мышцы, щитовидная железа; жировая ткань; печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, которые не относятся к 1 и 3 группам; 3 группа – кожный покров, костная ткань, кисти предплечья, лодыжки и стопы.

Санитарными нормами для операторов рентгено- и гамма-просвечивания, исходя из предельно допустимой дозы (ПДД) в 5 бэр/год, установлена ПДД облучения всего тела 2,8 мР/ч и, если принять, что в рабочей неделе t часов, то ПДД = $100/t$ мР/ч [6].

Для обеспечения радиационной безопасности используют различные методы защиты от ионизирующего излучения. Распространенными способами защиты являются: защита расстоянием и ослабление излучения экраном из тяжелого металла.

Различают стационарные защитные устройства (стены, перекрытия, двери, смотровые окна) и нестационарные (экраны, передвижные защитные кабинки, ширмы, защитные кожухи гамма-аппаратов и рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения источников излучения).

Для соблюдения правил радиационной безопасности назначается на предприятии ответственное компетентное лицо, в обязанности которого входят:

- не реже двух раз в месяц производить измерение мощностей доз излучения на расстоянии 0,1 и 1 м от поверхности радиационной головки;
- не реже 2 раз в год осуществлять контроль эффективности защиты хранилища и смежных с ним помещений;
- постоянно измерять индивидуальные дозы облучения операторов;
- вести журнал доз облучения.

Лаборатория радиационной дефектоскопии должна быть укомплектована приборами дозиметрического и радиометрического контроля для индивидуального контроля полученной дозы и для контроля загрязненности поверхности помещений.

Контрольные вопросы к разделу

«Радиационные методы неразрушающего контроля»

1. На каком физическом явлении основаны радиационные методы неразрушающего контроля?
2. Какие основные характеристики ионизирующих излучений Вы знаете?
3. Назовите три основных вида источников проникающих излучений.
4. Какие основные элементы рентгеновской трубки Вы знаете?
5. Что является источником ионизирующего излучения для гамма-дефектоскопов?
6. Как устроена ампула источника гамма-излучения?

7. Какие способы детектирования при радиационном контроле Вы знаете?
8. В чем заключаются преимущества радиографического метода детектирования перед другими?
9. Назовите два вида вредного воздействия радиационного излучения на организм человека?
10. Суммируются ли человеческим организмом поглощенные дозы радиационного облучения?

1.3. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Физические основы акустических методов. Акустические методы неразрушающего контроля нашли широкое распространение во многих отраслях промышленности благодаря их следующим качествам:

- высокая чувствительность к мелким дефектам;
- большая проникающая способность;
- возможность определения размеров и места расположения дефектов;
- оперативность индикации дефектов;
- возможность контроля при одностороннем доступе к объекту;
- высокая производительность;
- безопасность работы оператора и окружающего персонала.

Акустические методы контроля имеют и недостатки: необходимость высокой чистоты обработки поверхности контролируемого объекта; наличие мертвых зон, которые снижают эффективность контроля; необходимость разработки специальных методов контроля для отдельных сложных объектов [3].

Разработано большое количество методов акустического контроля изделий, авторы работы [2] их насчитывают 22. Чаще всего в промышленности акустические методы используют для следующих целей:

- определение толщины объекта;
- контроль сплошности;
- определение физико-химических свойств материала объекта, а также изучение кинетики разрушения изделия, что позволяет прогнозировать их надежность [2, 8].

Акустические методы контроля основаны на распространении и отражении упругих волн в упругих средах. При этом частицы среды не переносятся, а совершают колебания с определенной частотой f относительно точек равновесия. Если в объекте возбудить с помощью источника колебание, то оно будет распространяться от частицы к частице в материале объекта со скоростью c . Расстояние между частицами, которые колеблются в одинаковой фазе, называется длиной волны λ . Частота колебаний f , скорость c и длина волны λ связаны следующей зависимостью:

$$\lambda = c/f.$$

Для реализации акустических методов используют упругие колебания в звуковом диапазоне с частотой от 20 до 2×10^4 Гц и в ультразвуковом от 2×10^4 до 1×10^9 Гц [3]. Чаще всего в промышленности используют ультразвуковой диапазон, поэтому эти методы называют ультразвуковыми методами контроля (УЗК).

При ультразвуковом контроле колебания передаются от внешнего источника частицам материала объекта. Если направление колебания этих частиц совпадает с направлением распространения волны, то такая волна называется продольной. Продольная волна возбуждается источником колебаний в твердой, жидкой и газообразной среде.

В твердом теле направление колебания частиц может быть перпендикулярно направлению продольной волны, т.е. возникают поперечные волны, что объясняется способностью твердого тела (в отличие от жидкого и газообразного) упруго сопротивляться деформации сдвига. В твердом теле на его свободной поверхности можно возбудить поверхностные волны (волны Рэлея), в которых частицы колеблются по эллипсам [3]. По мере удаления от свободной поверхности амплитуда колебаний этих частиц убывает по экспоненте, поэтому такая волна существует в тонком поверхностном слое толщиной от 1 до 1,5 длины волны λ .

В тонких листах постоянной толщины и проволоке, когда поперечное сечение их во много раз меньше длины волны, можно возбудить так называемые нормальные волны (волны Лэмба), которые связаны со спецификой механизма распространения ультразвуковых волн [2, 3, 6].

Энергия ультразвуковых колебаний в процессе их распространения постепенно убывает, что обусловлено геометрическим расхождением лучей, а также тем, что часть ее, поглощаясь средой, переходит в тепловую энергию, а часть рассеивается зернами металла в результате повторных отражений (структурная реверберация).

Оперативность и точность ультразвуковых методов контроля зависят не только от вида и скорости распространения волн, но и от свойств контролируемых объектов (удельное волновое сопротивление материала, плотность, размеры и форма тела).

Для возбуждения ультразвуковых колебаний чаще всего для контроля используют пьезоэлектрические преобразователи, которые изготавливают из монокристалла кварца или пьезокерамических материалов: титаната бария, цирконат-титаната свинца и др. Из таких материалов делают пластину, на параллельные поверхности которой наносят тонкие слои серебра, служащие электродами. Затем пластину поляризуют в постоянном электрическом поле, после чего такое изделие приобретает пьезоэлектрические свойства (рис. 1.14).

Если к электродам приложить переменное электрическое напряжение, то пластина будет совершать вынужденные колебания, растягиваясь и сжимаясь, с частотой приложенного электрического напряжения (обратный пьезоэффект). Если на пластину воздействовать упругими механическими колебаниями, то на электродах ее возникает переменное электрическое напряжение с частотой приложенных механических колебаний (прямой пьезоэффект).

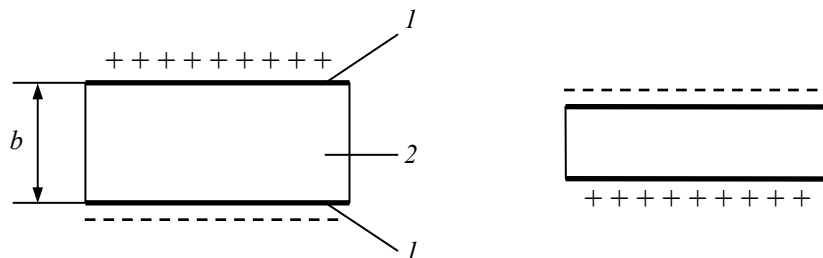


Рис. 1.14. Пьезопреобразователь:

1 – электроды; 2 – пьезопластина; b – начальная толщина пластины

Напряжение на электродах определяет амплитуду колебаний пластины. Кроме того, если частота возбуждающего переменного напряжения совпадает с собственной частотой колебаний пластины (резонанс), то амплитуда колебаний будет максимальной. Следует отметить, что собственная частота колебаний пластины зависит от ее толщины и скорости упругих волн. Эта частота зависит от свойств пьезоматериала и может быть рассчитана по следующей зависимости:

$$f_0 = k_0 / b,$$

где k_0 – коэффициент, равный для титаната бария $2,5 \text{ МГц} \times \text{мм}$ и $1,88$ для цирконат-титаната свинца.

1.3.1. Излучение и прием ультразвука

Если колеблющуюся пластину приложить к поверхности контролируемого объекта, то в материале его будут возбуждаться и распространяться упругие волны. Для предохранения пластины от механического износа, а также для ввода в объект контроля под определенным углом и приема волн пластину помещают в специальные призмы из оргстекла, получая таким методом искательные головки (искатели).

Скорость распространения волн зависит от акустического сопротивления материала контролируемого объекта. Акустические сопротивления различных сред отличаются друг от друга. Например, волновые сопротивления газов, жидкостей и металлов относятся друг другу в среднем как $1 : 3 \times 10^3 : 10^5$.

Ультразвуковые волны распространяются по законам геометрической оптики, т.е. им присущи отражение, преломление, интерференция, дифракция, затухание. Например, если продольная волна падает на границу раздела двух сред, которые имеют различные акустические сопротивления, то часть энергии волны отражается от этой границы в первую, а другая часть энергии переходит во вторую среду. Соотношение этих энергий зависит от соотношения акустических сопротивлений сред. Если, например, между защитным доньшком из оргстекла защитной головки и металлической поверхностью контролируемого объекта будет воздушный зазор, то от него отразится в доньшко практически вся энергия упругих волн, так как акустические сопротивления этих сред значительно отличаются друг от друга. Поэтому для улучшения акустического контакта между доньшком искательной головки и объектом контроля помещают тонкий слой минерального масла, устраняя таким приемом воздушный зазор.

Если продольная ультразвуковая волна падает на границу раздела двух твердых сред под некоторым углом (рис. 1.15), то прошедшая и отраженная волны преломляются и трансформируются на две продольные L' , L'' и две поперечные S' и S'' , которые распространяются в первой и во второй средах под различными углами.

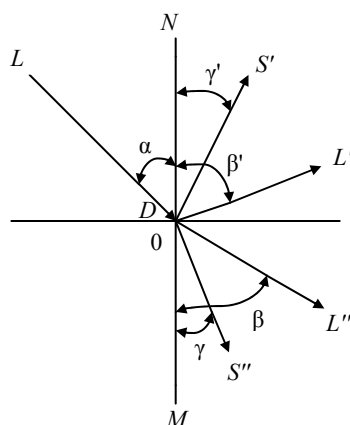


Рис. 1.15. Схема отражения и прохождения упругих волн при наклонном падении луча

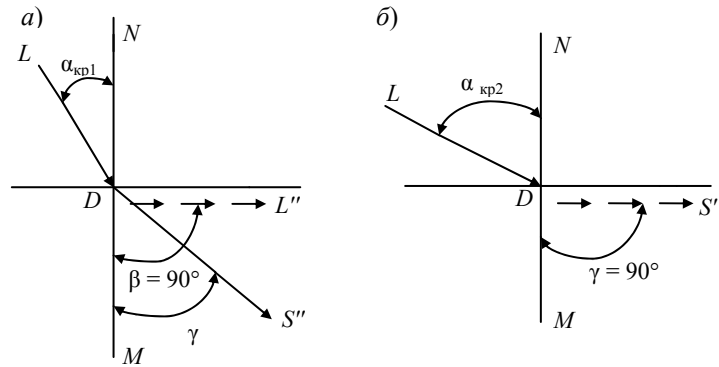


Рис. 1.16. Схема распространения при критических углах Продольных (а) и сдвиговых (б) преломленных волн

Угол α между падающим лучом LD и перпендикуляром MN к поверхности раздела в точке O называется углом падения; углы β' и γ' – углами отражения, а углы β и γ – углами преломления или углами ввода продольной и поперечной волн. При некотором значении падающего угла α преломленные продольные волны распространяются по поверхности, не проникая во вторую среду (рис. 1.16, а).

Этот угол называется первым критическим углом падения $\alpha_{кр1}$. Если увеличивать далее угол падения α , то по поверхности будут распространяться преломленные поперечные волны. Такой угол падения называется вторым критическим углом $\alpha_{кр2}$ (рис. 1.16, б). Если угол падения лежит между первым и вторым критическими углами, то во второй среде будут распространяться только поперечные волны. Обычно для контроля стальных изделий угол падения выбирают в пределах $30 \dots 55^\circ$.

Указанные соотношения отражения и преломления волн справедливы только для плоских и гладких поверхностей соприкосновения сред и если поверхность раздела имеет неровности, высота которых $0,05 \dots 0,1$ длины волны, то наблюдается диффузионное отражение и преломление, что приводит к искажению волнового поля.

Следует отметить, что для упругих волн в полной мере верен закон обратимости: падающая волна из второй среды под углом β или γ на границу с первой после преломления войдет в первую под углом α .

Рассмотренные выше свойства упругих волн используются при расчете и конструировании искательных головок [2, 3, 6] для излучения и приема волн. На рис. 1.17 представлены некоторые виды искательных головок.

Для прямых и наклонных (призматических) искателей характерно то, что функции излучения и приема ультразвука выполняет один и тот же пьезоэлектрический преобразователь. В разделяльно-совмещенной искательной головке имеются два преобразователя: один является излучателем, а другой – приемником. С помощью прямых искателей колебания вводятся в объект контроля перпендикулярно, а в наклонных и разделяльно-совмещенных – под углом к поверхности объекта в точке ввода. Широкое применение в ультразвуковой диагностике нашли призматические искатели, расчет которых описан в работах [2, 3, 6].

Угол падения ультразвуковых волн обеспечивается углом u основания призмы. Этот угол выбирается таким, чтобы в объекте контроля распространялась только поперечная волна и чтобы так называемая мертвая зона была наименьшей. Она примыкает к контактной зоне (поверхность, где располагается искатель). Мертвая зона – это область контролируемого участка объекта, в которой при данной настройке УЗК-аппаратуры дефекты не выявляются, так как эхо-сигнал от дефекта не отделяется от зондирующего [3]. Область мертвой зоны уменьшается с увеличением угла ввода волны и с увеличением частоты ультразвука.

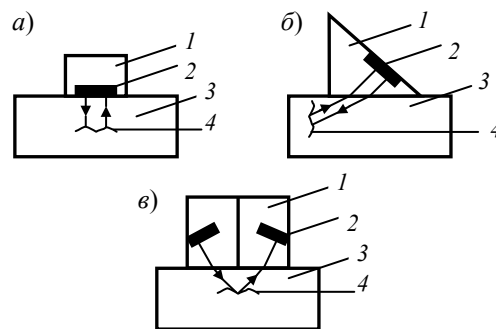


Рис. 1.17. Основные типы искателей:
 а – прямой; б – наклонный (призматический); в – разделяльно-совмещенный;
 1 – оргстекло; 2 – пьезопластина; 3 – объект контроля; 4 – дефект

1.3.2. Методы ультразвуковой дефектоскопии

Для ультразвуковой диагностики оборудования используют чаще всего три метода обнаружения дефектов: эхо-импульсный, теневой и зеркально-теневой. Эхо-импульсный метод реализуется путем ввода в объект контроля импульса ультразвука и приема отраженного от дефекта эхо-сигнала, который и свидетельствует о наличии несплошности. Фиксирование отраженного ультразвука (амплитуды сигнала) от границ объекта контроля и от дефекта осуществляется с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Следует отметить, что на чувствительность искателя влияет диаметр пьезопластины, который можно определить по следующей зависимости [6]:

$$d \times f = 12 \dots 15,$$

где d – диаметр пластины, мм; f – частота, МГц. Также в этой работе приведены рекомендации по выбору оптимальной рабочей частоты (f , МГц) в зависимости от толщины (h , мм) контролируемого объекта (h/f): 4...15/5...2,5; 15...40/2,5; 40...100/1,8. По времени между вводом импульса и приемом отраженного эхо-сигнала от дефекта судят о глубине его залегания (рис. 1.18).

Теневого метод характеризуется тем, что искатели (один – излучатель, другой – приемник) располагаются на противоположных поверхностях объекта контроля. Ультразвук проходит через контролируемое сечение и о наличии дефекта судят по уменьшению амплитуды (интенсивности) сигнала (рис. 1.19). Для этого метода можно использовать как импульсный, так и непрерывный режим излучения ультразвука.

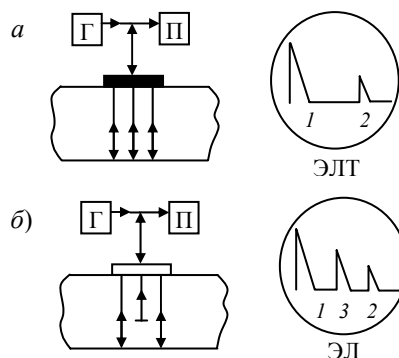


Рис. 1.18. Схема ультразвукового контроля эхо-импульсным методом:
a – без дефекта; *б* – с дефектом; Г – генератор ультразвуковых колебаний;
 П – приемник; ЭЛТ – электронно-лучевая трубка; 1 – зондирующий импульс;
 2 – донный импульс; 3 – импульс от дефекта

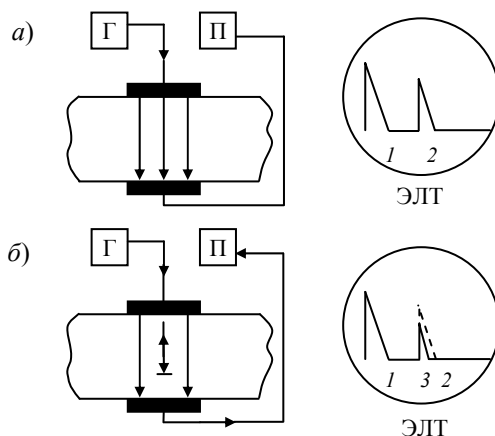


Рис. 1.19. Схема ультразвукового контроля теньевым методом:
a – без дефекта; *б* – с дефектом; Г – генератор ультразвуковых колебаний;
 П – приемник; ЭЛТ – электронно-лучевая трубка;
 1 – зондирующий импульс; 2 – донный импульс; 3 – импульс от дефекта

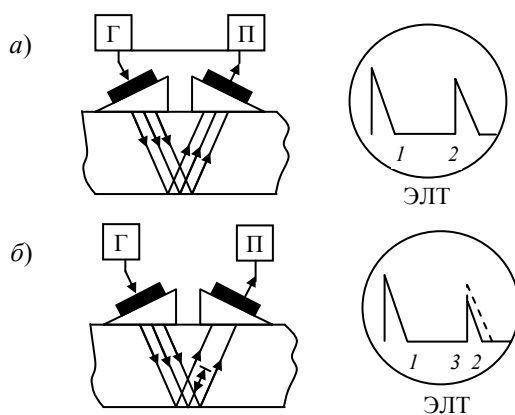


Рис. 1.20. Схема ультразвукового контроля зеркально-теньевым методом:
a – без дефекта; *б* – с дефектом; Г – генератор ультразвуковых колебаний;
 П – приемник; ЭЛТ – электронно-лучевая трубка; 1 – зондирующий импульс;
 2 – донный импульс; 3 – импульс от дефекта

Зеркально-теневой метод отличается от рассмотренных выше методов тем, что наличие дефекта определяется по уменьшению амплитуды эхо-сигнала, отраженного от противоположной (донной) поверхности объекта и ослабленного этим дефектом (рис. 1.20).

Каждый из рассмотренных методов имеет определенную область применения, в которой он эффективен. Например, для контроля сварных соединений широко применяется эхо-импульсный метод, так как он обладает более высокой чувствительностью, чем теневой и зеркально-теневой, а также позволяет совместить в одном искателе функции излучателя и приемника [6].

Для теневого метода необходимо иметь возможность доступа к контролируемой зоне объекта с двух сторон, но при этом на эффективность влияет соблюдение определенного взаимного расположения искателей. Преимущества этого метода в том, что он позволяет уменьшить мертвую зону и он эффективен при контроле малых толщин: 1...4 мм [6].

1.3.3. Аппаратура и порядок проведения ультразвукового контроля

Аппаратура для ультразвуковой диагностики состоит из дефектоскопа, набора искательных головок, тест-образцов для настройки и других вспомогательных приспособлений. В свою очередь дефектоскоп представляет собой совокупность функциональных блоков (рис. 1.21).

Согласно схеме, генератор синхронизирующих импульсов 11 вырабатывает импульсы для пуска генератора зондирующих импульсов 4 и генератора развертки 10. Импульсы высокочастотных колебаний от генератора 4 подаются на пьезоэлемент искателя 3, который преобразует их в механические ультразвуковые колебания. Эти колебания вводятся через слой контактной жидкости в объект контроля 1.

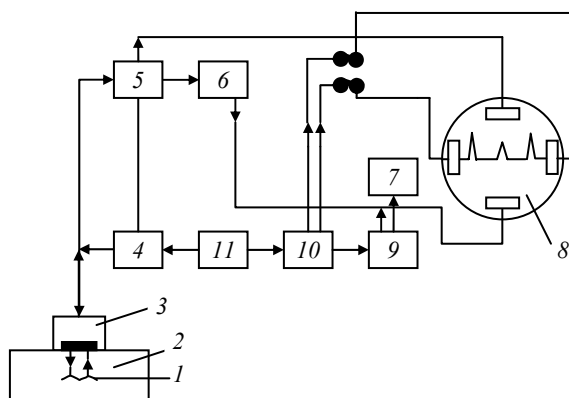


Рис. 1.21. Схема дефектоскопа:

- 1 – объект контроля; 2 – дефект; 3 – искатель;
 4 – генератор зондирующих импульсов; 5 – усилитель высокой частоты;
 6 – селектор автоматического сигнализатора; 7 – электронная лупа;
 8 – электронно-лучевая трубка; 9 – электронный глубиномер;
 10 – генератор развертки; 11 – генератор синхронизирующих импульсов

Часть ультразвуковой энергии отражается от границы объекта или дефекта, возвращается к пьезоэлементу и преобразуется после усилителя в электрическую энергию высокой частоты 5. Затем она передается на ЭЛТ 8 дефектоскопа и на блок 6 автоматической сигнализации дефекта (АСД). Синхронно с зондирующими импульсами на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ подается напряжение от генератора развертки 10. На экране ЭЛТ появляется горизонтальная линия развертки с первым импульсом, называемым зондирующим. Второй импульс на линии развертки является эхо-сигналом, который отражается от противоположной поверхности объекта (донный импульс). В случае, если объект имеет дефект, то часть энергии, отразившись от дефекта, дает также импульс на линии развертки (см. рис. 1.21), который располагается между зондирующим и донным. Электронная лупа 7 служит для увеличения масштаба изображения участка контроля. Определив с помощью глубиномера 9 временной интервал между зондирующим импульсом и импульсом от дефекта, можно найти глубину залегания дефекта по выражению:

$$l = 0,5ci,$$

где c – скорость звуковых колебаний в объекте, м/с; i – время прохождения импульса до дефекта и обратно, с.

Важным элементом рассматриваемой схемы является искатель 3. Он состоит из корпуса, пьезоэлемента (или двух в РС-искателях), электродов, демпфера и разъема. Иногда искатели снабжаются устройствами для изменения угла наклона пьезопластины, подачи контактирующей жидкости и стабилизации давления на головку.

В качестве контактной жидкости применяют автол, компрессорное, трансформаторное или другие аналогичные масла или жидкости специального состава [6]. Важным элементом ультразвуковой аппаратуры является набор стандартных испытательных образцов для настройки дефектоскопа перед контролем объекта.

При контроле ультразвуковыми методами особое внимание уделяют двум этапам:

1. Подготовка объекта и аппаратуры.
2. Выявление дефектов.

На первом этапе изучают соответствующую нормативно-техническую документацию, например [9, 10], и техническую документацию на объект контроля. Делают внешний осмотр и необходимые замеры в соответствии с первым разделом настоящего пособия, определяют ширину зоны зачистки поверхности объекта, устанавливают параметры контроля.

Рассмотрим наиболее важные элементы этапов контроля на примере ультразвуковой диагностики сварных соединений [6].

Размеры ширины зоны зачистки зависят от принятой схемы контроля и толщины свариваемых деталей. Например, для стыковых соединений часто применяют схемы контроля прямым и однократно отраженным лучом (рис. 1.22).

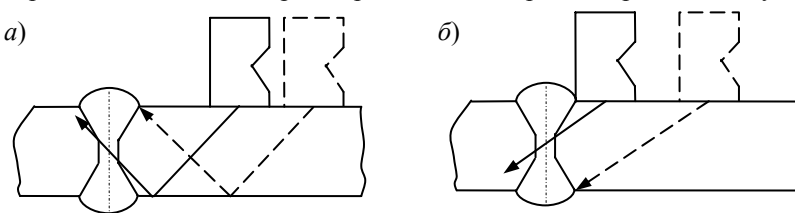


Рис. 1.22. Схемы контроля стыковых сварных соединений:

a – прямым лучом; *б* – однократно отраженным лучом;

1 – свариваемые элементы; 2 – шов; 3 – искатель

Ширина зоны зачистки для приведенных выше схем составляет 80...250 мм при толщине свариваемых элементов до 60 мм. В работах [3, 6] приведены рекомендации и расчетные зависимости по выбору схемы контроля сварных соединений, угла ввода луча, частоты ультразвука и размера ширины зоны зачистки.

Подготовка аппаратуры для ультразвуковой диагностики имеет своей целью обеспечение надежности и объективности результатов контроля. Чтобы исключить субъективные факторы при проведении диагностики, необходимо создать стандартные условия. Одним из важных условий является настройка дефектоскопа по стандартным контрольным образцам, что может обеспечить соответствующую чувствительность ультразвукового метода. Под чувствительностью понимают минимальную площадь отражения в контрольном образце на определенном расстоянии от точки ввода волн в плоскости, перпендикулярной к направлению прозвучивания [3].

Разрабатывая стандартные образцы для настройки приборов, необходимо стремиться к тому, чтобы они наиболее полно имитировали предполагаемые дефекты. Необходимо также помнить, что искусственный отражатель в образце и естественный дефект в объекте, имеющие одинаковые площади и находящиеся на одинаковой глубине в одном и том же материале, имеют разные амплитуды эхо-сигналов. Амплитуда сигнала от естественного дефекта будет меньше, что объясняется кривизной его поверхности, а значит, диффузионным отражением ультразвукового сигнала. В работах [2, 3, 6] приводятся описание стандартных контрольных образцов и методики настройки аппаратуры для ультразвуковой диагностики.

Выявление дефектов производят путем перемещения искательной головки по зачищенной зоне поверхности объекта контроля. Эту операцию (сканирование) выполняют по заранее выбранной схеме в соответствии с техническими условиями и учетом опыта диагностирования аналогичных объектов. В работах [2, 3, 6] приведены методики ультразвуковой диагностики конкретных объектов и расчетные зависимости для реализации этого метода неразрушающего контроля.

Контрольные вопросы к разделу

«Акустические методы неразрушающего контроля»

1. Каковы основные качества акустических методов контроля?
2. Для каких целей используют акустические методы контроля?
3. Какова физическая основа акустических методов контроля?
4. По каким законам происходит распространение ультразвуковых волн?
5. Какие материалы используют для изготовления пьезопреобразователей?
6. Как происходит излучение и прием ультразвука?
7. Как устроена искательная головка?
8. Назовите три основных метода ультразвуковой дефектоскопии?

1.4. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Физические основы магнитных методов. Магнитные методы используют для диагностики объектов из ферромагнитных материалов, которые под действием внешнего магнитного поля значительно изменяют свои магнитные характеристики [2]. Данные методы позволяют обнаруживать усталостные, шлифовочные, закалочные трещины и другие дефекты на поверхности объекта контроля, а в сварных швах – непровары, шлаковые включения, поры и т.д. Магнитные методы контроля основаны на регистрации и анализе магнитных полей рассеяния, возникающих в местах расположения дефектов. Эти методы классифицируют по способам регистрации магнитных полей, их насчитывают более шести, но на практике наибольшее применение нашли два: магнитопорошковый и магнитографический.

Использование данных магнитных методов контроля ферромагнитных материалов основано на их особых свойствах реагировать на внешнее магнитное поле. Такой материал без влияния на него магнитного поля состоит из самопроизвольно намагниченных областей-доменов, поля которых компенсируют друг друга и суммарное магнитное поле равно нулю. Под действием внешнего магнитного поля домены ориентируются в направлении действия этого поля и изделие из такого материала намагничивается. Намагничивающее поле характеризуется напряженностью и индукцией. Если объект контроля поместить в магнитное поле и усиливать его напряженность, то индукция самого материала объекта будет расти сначала быстро, затем медленнее и, наконец, останавливается – наступает насыщение. Если снять напряженность намагничивающего поля, то в материале объекта будет иметь место остаточная индукция (остаточная намагниченность материала).

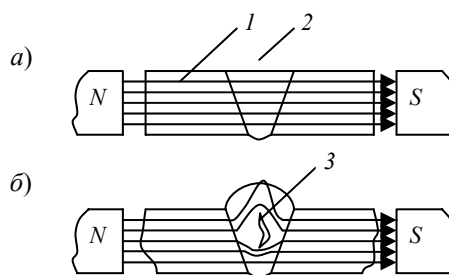


Рис. 1.23. Распределение магнитного потока в свариваемых деталях:

a – без дефекта; *б* – с дефектом;
1 – свариваемый материал; 2 – сварной шов; 3 – дефект

Если намагничиваемый материал сплошной, то магнитный поток в нем распространяется по сечению равномерно. Если же материал объекта имеет несплошности (трещины, посторонние включения и т.п.), то такие дефекты оказывают магнитному потоку большее сопротивление, чем сам материал. Магнитный поток в этом случае как бы обтекает дефект, поле сгущается и частично выходит за границы объекта, распространяясь по воздуху, и затем входит в материал за пределами дефекта (рис. 1.23). Над дефектом магнитное поле называется полем рассеяния. Поле рассеяния проявляется максимально, если дефект расположен перпендикулярно направлению магнитного потока.

Чтобы обнаружить дефект, необходимо использовать способы визуализации и фиксирования поля рассеяния. Такими способами являются магнитопорошковый и магнитографический, которые чаще всего применяются при магнитных методах неразрушающего контроля.

1.4.1. Магнитопорошковый метод

Поля рассеяния, образующиеся над местами расположения дефектов, можно обнаружить с помощью порошков. Такие порошки состоят из ферромагнитных частиц, которые, попадая в неоднородное магнитное поле, сосредотачиваются в тех местах, где его силовые линии сгущаются, т.е. по краям дефектов или над дефектами. Намагниченные частицы порошка притягиваются друг к другу, образуя цепочки по магнитным силовым линиям поля рассеяния.

Размеры частиц порошков находятся в пределах 0,1...60 мкм [6]. Порошки получают термическим разложением пентакарбонила железа, размельчением окалина железа, окислением магнетита [6]. В зависимости от цвета контролируемого объекта для лучшей визуализации дефекта используют порошки черного, кирпично-красного цвета и магнитно-люминесцентные. В зависимости от способа нанесения порошка различают сухой и мокрый методы магнитопорошковой дефектоскопии. Сухой способ реализуется напылением порошка с помощью специального пульверизатора или сита. Мокрый способ основан на применении суспензий или паст: порошок-жидкость. В качестве жидкости используют воду, керосин, масло.

Для намагничивания объекта контроля используют постоянные магниты, электромагниты, а также пропускание через проводник или объект электрического тока (постоянного или переменного). При этом контроль проводят в приложенном поле или остаточного намагничивания.

Для реализации магнитопорошкового метода применяют стационарные, передвижные и переносные дефектоскопы, характеристики которых приведены в работах [2, 6]. Магнитопорошковым методом можно обнаружить дефекты с раскрытием на поверхности до 1 мкм и глубиной более 10 мкм [6]. При магнитопорошковом методе осмотр объекта производят невооруженным глазом. Если используют магнитно-люминесцентные порошки, то для освещения объекта применяют ртутно-кварцевые лампы. Освещенность мест контроля должна быть не ниже 1000 лк [6].

По окончании магнитопорошкового контроля производят размагничивание объекта, так как намагниченность может вызвать нежелательные последствия: ускорение износа деталей из-за притягивания ферромагнитных частиц, снижение чистоты обработки из-за налипания стружки к резцу и т.п. [3].

1.4.2. Магнитографический метод

Суть магнитографического метода заключается в том, что магнитные поля рассеяния от дефектов регистрируются с помощью магнитной ленты. Затем эта запись на ленте преобразуется в сигналы, которые считываются и становятся видны на экране электронно-лучевой трубки. Порядок проведения контроля магнитографическим методом следующий: очистка поверхности объекта, укладка предварительно размагниченной ленты на подготовленную поверхность, намагничивание контролируемого участка, считывание информации с ленты дефектоскопом. На рис. 1.24 в качестве примера приведена схема контроля сварного шва.

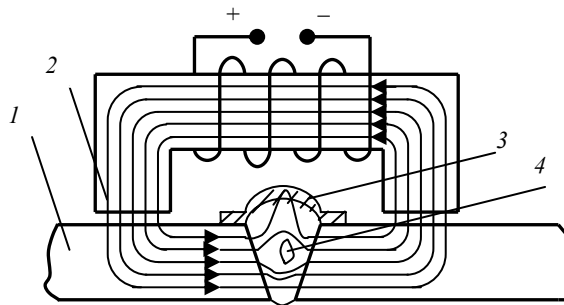


Рис. 1.24. Схема проведения магнитографического контроля сварного шва:

1 – свариваемое изделие; 2 – электромагнит; 3 – магнитная лента; 4 – дефект

Для данного вида контроля используют обычную серийно выпускаемую ленту, а также специальную двухслойную. В последнем случае при записи слабые поля рассеяния фиксируются в верхнем слое, а сильные – в нижнем, что объясняется различными свойствами порошков в слоях ленты [6]. Электромагнит питается от источника постоянного тока напряжением 50...60 В при силе тока 40...50 А. В качестве считывающего устройства в дефектоскопе используют вращающиеся магнитные головки. Сигнал, считанный головками с ленты, усиливается, преобразуется и передается на электронно-лучевую трубку для анализа [2, 3, 6].

Контрольные вопросы к разделу «Магнитные методы неразрушающего контроля»

1. Для каких объектов используют магнитные методы диагностики?
2. Какие дефекты можно обнаружить магнитными методами контроля?
3. На каком явлении основано применение магнитных методов контроля?
4. В чем суть магнитопорошкового метода?
5. Каковы физические основы магнитографического метода?

1.5. КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Данные методы контроля используют для выявления таких дефектов, как микротрещины и трещины, выходящие на поверхность объекта, поверхностные поры и непровары сварных швов. Перечисленные дефекты по своим физическим свойствам являются капиллярами, поэтому эти методы контроля называются капиллярными.

Капиллярная дефектоскопия основана на изменении контрастностей изображения дефектов и фона, на котором они выявляются с помощью специальных свето- и цветоконтрастных индикаторных жидкостей (пенетрантов) [6]. Пенетранты наносят на предварительно очищенную поверхность объекта контроля. Затем некоторое время выдерживают, чтобы пенетрант проник в полости дефекта. После этого избыток пенетранта удаляют и наносят проявляющий состав (проявитель). Пенетрант, оставшийся в дефектах, образует на фоне проявителя рисунок, по которому судят о наличии дефектов и их поверхностных размерах.

Эффективность капиллярного метода контроля зависит от проникающей способности пенетранта и извлечения его из дефекта проявителем. Проникающая способность пенетранта зависит от адгезионных сил взаимодействия его молекул с молекулами поверхности дефектов и их размеров [11].

Процесс извлечения пенетранта связан с диффузией его из дефекта и сорбцией проявителем. Проявитель может применяться в виде порошка или суспензии, частицы которых также образуют систему мелких капилляров. Проявитель подбирается так, чтобы адгезионные силы взаимодействия его молекул с молекулами пенетранта были больше удерживающих сил пенетранта в капиллярах дефекта. В зависимости от свойств пенетранта и проявителя различают три метода капиллярного контроля: люминесцентный, цветной и люминесцентно-цветной.

Для люминесцентного характерно то, что в состав пенетрантов вводят вещества, которые при естественном освещении или облучении ультрафиолетовыми лучами становятся источниками излучения яркого свечения. Такие вещества называются люминофорами.

Метод красок основан на использовании пенетрантов, в состав которых входят специальные красители. В качестве примера можно привести следующий состав: 800 мл осветленного керосина, 200 мл скипидара марки А, 15 г темно-красного красителя «Судан-4», 750 мл дистиллированной воды, 250 мл этилового спирта марки А, 25 г химически чистого азотнокислого натрия, 20 г эмульгатора ЭП-10 и 20 г красителя «Радомин-С». В качестве проявителя используют следующий состав: 600 мл гидролизного спирта, 400 мл воды и 300 г каолина.

Люминесцентно-цветной метод является сочетанием двух, рассмотренных выше методов и отличается лишь тем, что пенетрант не только люминесцирует в ультрафиолетовых лучах, но и при обычном освещении. Этот метод отличается высокой чувствительностью, но для его применения контролируемые поверхности должны иметь чистоту обработки не ниже пятого класса.

Следует отметить, что для любого из перечисленных методов, с целью интенсификации процесса заполнения полости дефекта, используют вакуумирование, ультразвук и т.д. [6].

Контрольные вопросы к разделу «Капиллярные методы неразрушающего контроля»

1. Какие дефекты можно обнаружить с помощью капиллярных методов?
2. На каком явлении основана капиллярная дефектоскопия?

3. Назовите три основных метода капиллярного контроля.
4. Как подбирается проявитель для капиллярного контроля?
5. Какие приемы используют для интенсификации процесса заполнения полости дефекта при капиллярной диагностике?

1.6. ИСПЫТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ

Испытания технологического оборудования на прочность и плотность (опрессовка) проводят гидравлически или пневматически. По условиям безопасности предпочтение отдается гидравлическим испытаниям. Порядок выполнения гидравлических испытаний следующий:

- а) в верхней части аппарата, при необходимости, монтируют штуцер с краном для подвода воды, в нижней – для стока воды, кроме того, устанавливают воздушник и манометр;
- б) заглушают все штуцеры, люки, отключают КИПиА;
- в) аппарат заполняют водой;
- г) закрывают воздушник;
- д) поднимают давление до рабочего и далее до давления испытания;
- е) выдерживают 5 мин и снижают давление до рабочего;
- ж) при рабочем давлении аппарат осматривают и проверяют уплотнения;
- з) давление снижают до атмосферного и сливают воду. Воздушник при этом открывают.

Следует отметить, что если в аппарате остается воздух, то испытания на прочность категорически запрещаются. О присутствии воздуха в аппарате свидетельствуют резкие колебания стрелки манометра при работе насоса, создающего давление в аппарате.

Режимы гидравлических испытаний следующие:

- а) если рабочее давление в аппарате $P_{\text{раб}} \geq 0,5 \text{ МПа}$, то давление испытания $P_{\text{исп}} = 1,25 P_{\text{раб}}$;
- б) если $P_{\text{раб}} \leq 0,5 \text{ МПа}$, то $P_{\text{исп}} = 1,5 P_{\text{раб}}$.

Как правило, на прочность аппараты испытывают гидравлически и лишь в исключительных случаях с особого разрешения Госгортехнадзора испытывают и пневматически, но давление не поднимают выше рабочего.

Пневматические испытания проводят, как исключение, в следующих случаях:

- а) когда опоры или конструкция не рассчитаны на вес воды, которая заполняет аппарат при гидравлическом испытании (газовые аппараты);
- б) при низкой температуре атмосферы, когда вода может превратиться в лед;
- в) особые причины: когда герметизирующие материалы растворяются в воде или когда требуется тщательная осушка аппарата после гидроиспытаний.

Аппарат при пневматическом испытании осматривают и для контроля плотности мыльным раствором смачивают сварные швы и фланцевые соединения.

Все дефекты, выявленные при испытаниях, отмечают мелом и исправляют. Также подтягивают гайки, меняют прокладки, вырубают дефектные участки с последующей заваркой. Затем проводят повторные испытания. Аппарат считается выдержавшим испытание, если отсутствуют трещины, нет «потения» сварных швов и нет остаточных деформаций после испытания.

Режимы пневматических испытаний

Создаваемое давление, кг/см ²	Время подъема давления, мин	Продолжительность испытания, мин
1	15	10
1...10	30	10
10...20	30	10
20...50	40	15
50...100	50	15

1.7. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Специфика диагностирования оборудования [14] определяется условиями эксплуатации: сосуды, работающие на открытом воздухе; в водород- и сероводородсодержащих средах; аппараты для аммиака; футерованные аппараты; емкости, заглубленные в грунт; сосуды с многослойными стенками.

Диагностирование сосудов, работающих на открытом воздухе. В холодное время года конструкционный материал такого оборудования может иметь температуру ниже минимальной разрешенной температуры применения стали, что может привести к снижению пластических свойств металла, а это, в свою очередь, ведет к образованию и развитию трещин. Особенно это характерно для углеродистых и низколегированных сталей.

Сварные швы таких сосудов, работающих в режиме циклических нагрузок, подвергается 100 %-ному диагностированию методами ультразвукового и радиографического контроля. Сварные швы патрубков с диаметром менее 100 мм и швы с конструктивными зазорами должны подвергаться контролю магнитопорошковым, цветным или вихретоковым методами.

Если диагностика указанными методами дала положительные результаты, то выводы о дальнейшей эксплуатации такого оборудования должны быть сделаны только после испытания материала стенки на ударную вязкость и расчетов на прочность. Для испытания на ударную вязкость образцы вырезают из каждой царги и днища корпуса. Размер вырезаемой заготовки 100 × 100 мм или Ø 100 мм. При расчете на прочность конструкционный материал оборудования рассматривается как хрупкий. Коэффициент запаса в этом случае принимают как для чугуна с пластинчатым графитом по ГОСТ 26159–84.

Диагностирование оборудования, работающего в сероводородсодержащей среде. Материал такого оборудования подвергается не только общей коррозии, но коррозионному растрескиванию и расслоению. Это происходит под влиянием водо-

рода, который образуется в результате электрохимических процессов при участии стали, сероводорода, углекислого газа и влаги. Растрескивание и расслоение могут начаться внутри металла. Эти явления особенно характерны для сталей аустенитного и аустенитно-мартенситного классов, в которых водород облегчает протекание мартенситного превращения и зарождения трещин. Растрескивание часто наблюдается в зонах термического влияния сварного шва при pH водной фазы менее 5 и интервале температур 30 – 40 °С. Склонность к растрескиванию также определяется особенностью структуры металла: наличием структурных неоднородностей, количеством и распределением неметаллических включений, химическим составом [14]. Расслоение металла, даже в отсутствии внешних напряжений, проявляется через образование трещин в направлении прокатки стали и «пузырей» на поверхности.

Диагностику оборудования, работающего в сероводородсодержащей среде, начинают с визуального контроля. При этом можно обнаружить участки с вспученной поверхностью и трещины на сварных швах с помощью светового луча, направленного по касательной к поверхности. Затем для контроля применяют методы цветной и магнитопорошковой дефектоскопии. Для обнаружения расслоений используют в основном ультразвуковую дефектоскопию и толщинометрию.

Оборудование считается пригодным к дальнейшей эксплуатации, если:

- размеры несплошностей или их скоплений не выходят за пределы круга диаметром 50 мм;
- если несплошности также не выходят за пределы круга Ø 50 мм в областях, примыкающих к сварным швам на расстоянии менее половины толщины стенки;
- условная толщина зоны несплошностей не превышает 5 % номинальной толщины стенки;
- глубина залегания зоны несплошностей от ближайшей поверхности не менее чем половина характерного размера в плоскости;
- если общая площадь, занятая несплошностями, не более 1 % поверхности контроля.

Диагностирование оборудования для аммиака. Конструкционный материал аппаратов для переработки аммиака подвержен коррозионному растрескиванию. Трещины могут возникать в оборудовании из углеродистых и низколегированных сталей и в сосудах, которые не подвергались термической обработке для снятия термических напряжений.

При диагностировании аммиачного оборудования особое внимание уделяется внутреннему осмотру, которому в обязательном порядке подлежат все доступные для этого сосуды. Визуально контролируют все сварные швы и особенно в зонах концентрации напряжений: места приварки патрубков, люков, опор и т.д.

Если при визуальном диагностировании обнаружены трещины или есть подозрения на наличие их, то эти зоны должны быть проконтролированы в обязательном порядке цветным, магнитопорошковым или вихретоковым методами.

Диагностирование оборудования, работающего в газообразных водородосодержащих средах. Такое оборудование подвергается диагностированию после 150 000 – 200 000 часов работы в газообразных водородосодержащих средах. Максимальная допустимая температура эксплуатации оборудования зависит от марки стали и парциального давления водорода. Эти зависимости приведены в справочной литературе [14].

Диагностирование оборудования основано на металлографических исследованиях и измерениях твердости на поверхности стенок аппаратов, контактирующих с водородосодержащей средой или путем исследований контрольных образцов, вырезанных из стенки сосуда. Вырезка контрольных образцов, технология ее, размеры образцов и способы последующей заделки мест вырезки определяются в каждом конкретном случае специальной организацией по согласованию с предприятием, где эксплуатируют это оборудование. Образцы вырезают из тех элементов сосуда, которые имели длительный контакт с водородосодержащей средой и высокую температуру.

Целью диагностирования являются оценка степени и характера изменения структурного состояния стали у поверхности со стороны контакта и выявление признаков протекания в металле процесса водородной коррозии.

Исследуются также химический и фазовый состав стали, послойное содержание водорода в стенке и механические свойства металла.

Диагностирование оборудования, имеющего односторонний доступ к поверхности корпуса. К данному типу оборудования относятся футерованные аппараты, емкости, заглубленные в грунт и т.п. Такое оборудование не позволяет провести визуальный контроль в полном объеме, а недоступные поверхности чаще всего подвергаются коррозии.

Если футерованный аппарат теплоизолирован, то наружный осмотр проводят до снятия изоляции с целью контроля целостности ее. При обнаружении участков с поврежденной изоляцией в первую очередь необходимо подвергнуть контролю металл, находящийся под этими участками.

Дальнейшее диагностирование проводится после снятия теплоизоляции, и визуальному контролю подвергаются 100 % поверхности аппарата. Особое внимание при этом обращают на сварные швы, отсутствие трещин и отслоений, следов коррозии и нарушение геометрических форм.

О состоянии футеровки можно косвенно судить по результатам внешнего осмотра, а также по результатам ультразвуковой толщинометрии. При этом необходимо выполнять следующие требования:

- число точек измерения должно быть не менее 12 на каждой царге обечайки и не менее 5 на каждом листе металла;
- при ультразвуковой толщинометрии вертикальных аппаратов особое внимание уделяют днищам и примыкающим к ним царгам (число точек измерения на днище должно быть не менее 9 и одно измерение обязательно на полюсе днища, а в случае сварного днища – не менее 5 точек на каждый лист);
- при ультразвуковой толщинометрии горизонтальных сосудов обязательно проводят измерения по нижней образующей обечайки, а также по двум образующим обечайки, находящимся на расстоянии 100...150 мм и 200...250 мм с каждой стороны нижней образующей;
- в зонах нарушения геометрической формы, повышенной коррозии, протечки продукта измерения необходимо производить по сетке с шагом не более 25 мм.

Если имеется возможность внутреннего осмотра, то в первую очередь обращают внимание на целостность футеровки и при обнаружении сколов, трещин, отслоений дефектные участки ее удаляют и заменяют. Металл под снятыми участками

футеровки контролируют визуально, а также цветным магнитопорошковым методом. Также на этих участках проверяют толщину стенки по сетке с шагом не более 25 мм.

Для сосудов, заглубленных в грунт, характерным является то, что у них наружная поверхность покрыта гидроизоляционным слоем и не доступна для полного визуального контроля. Состояние такой поверхности можно частично контролировать путем рытья шурфов на глубину 1...2 м для осмотра.

При проведении внутреннего осмотра особое внимание уделяют состоянию нижней части корпуса. Коррозию корпуса и состояние гидроизоляции контролируют методом ультразвуковой толщинометрии. Наибольшей коррозии подвергаются зоны, примыкающие к нижней образующей обечайки (горизонтальные сосуды) и днищу (вертикальные сосуды). В этих опасных зонах число точек измерения толщины стенки должно быть таким, какое указано выше для футерованных аппаратов.

Состояние гидроизоляции должно быть проверено в соответствии со СНиП 3.05–84 на сплошность, отсутствие трещин и повреждений. Если обнаруживается утончение стенок сосуда из-за коррозии внешней поверхности, то с этих мест снимают изоляцию, контролируют и вновь покрывают изоляцией.

Диагностирование сосудов из двухслойных сталей. Такие сосуды, имеющие стенки из основного металла и защитного тонкого металлического слоя, можно разделить на две группы:

– аппараты, у которых защитный слой обеспечивает чистоту обрабатываемых сред, защищая их от продуктов коррозии основного металла;

– аппараты, в которых плакировка защищает основной металл от коррозионного воздействия перерабатываемой среды.

Основными методами при диагностировании аппаратов из двухслойной стали являются визуальный контроль плакирующего слоя и ультразвуковая толщинометрия. При контроле необходимо учитывать, что коррозионная стойкость сварных швов биметалла на 20 % ниже, чем при плакировке монометалла [14].

В аппаратах второй группы недопустимы следующие дефекты плакировки:

– вмятины, поры, подрезы, царапины, забоины на глубину более 30 % исходной толщины плакирующего слоя;

– травимость по линии сплавления сварного шва и основного металла на глубину более 30 % исходной толщины плакировки;

– питтинговая коррозия.

Допустимость перечисленных дефектов для аппаратов первой группы зависит в каждом конкретном случае от условий эксплуатации.

В условиях эксплуатации толщина плакирующего слоя уменьшается и ее контролируют замером суммарной толщины, из которой вычитают исходную толщину основного слоя металла (при допущении, что основной слой остается без изменения). Определение суммарной толщины стенки аппарата проводят методом ультразвуковой толщинометрии. Расчеты на прочность таких сосудов должны проводиться по РД 26-11-5–85.

Контрольные вопросы к разделу «Особые случаи диагностирования оборудования»

1. Каков процент диагностирования сварных швов сосудов, работающих на открытом воздухе?
2. Почему относится к особому случаю диагностирование оборудования, работающего в сероводородсодержащей среде?
3. На чем основано диагностирование оборудования, работающего в водородсодержащих средах?
4. Каков порядок диагностирования футерованных аппаратов?
5. Каким способом проверяется состояние наружной поверхности сосудов, заглубленных в грунт?

1.8. ВЫБОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Кроме рассмотренных выше методов неразрушающего контроля, существуют и другие: вихретоковые, радиоволновые, электрические, оптические, тепловые, теческаниющие и вибрационные. Теоретические основы методов и средства реализации их наиболее полно представлены в работе [2]. Кроме того, используют для диагностики и разрушающие методы, например, сверление стенки емкостного аппарата с последующим замером ее толщины и заваркой места засверловки. Для химического оборудования чаще всего используют методы, которые были рассмотрены выше.

Выбор метода контроля зависит от многих факторов: чувствительности и разрешающей способности его, характеристики диагностируемого оборудования, типа дефектов и многих других факторов. Например, дефекты сварных швов эффективно выявляются в сочетании радиографического метода с ультразвуковым. Часто завершающими методами контроля емкостного оборудования и трубопроводов на прочность и плотность являются гидравлические и пневматические испытания.

Трудно дать однозначную рекомендацию по выбору метода, так как необходимо учитывать не только особенности объекта контроля, но и наличие диагностических средств у данного предприятия, условия проведения контроля и т.д. Как правило, используют совокупность нескольких методов контроля, и эта совокупность является составной частью экспертизы, которой периодически должно подвергаться химическое оборудование в целях безопасной эксплуатации его [12, 13].

Экспертиза оборудования проводится в соответствии с требованиями нормативных документов Ростехнадзора [14, 15]. Для проведения ее составляется программа, тип которой описан в [16]. В соответствии с этой программой проводятся следующие мероприятия:

1. Анализ технической документации на оборудование.
2. Функциональная диагностика:
 - визуально-измерительный контроль;
 - ультразвуковая толщинометрия и другие методы неразрушающего контроля;
 - испытания на прочность и плотность.
3. Расчет на прочность.
4. Анализ результатов диагностирования.
5. Определение остаточного ресурса.
6. Выводы и рекомендации.

1.9. ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Для обеспечения надежной эксплуатации оборудования необходимо знать остаточное время его работы (остаточный ресурс). Основой для определения остаточного ресурса являются результаты технического диагностирования и анализ условий его эксплуатации. Заключение, которое готовится по результатам диагностирования оборудования, должно содержать указания по допустимому сроку безопасной эксплуатации его или гарантированный остаточный ресурс. Этот ресурс должен определяться по самому неблагоприятному режиму предстоящей эксплуатации [14, 24]. Если остаточное время работы оборудования определяют параллельно по нескольким критериям (коррозия, циклические нагрузки, изменение механических характеристик конструкционного материала и т.д.), то остаточный ресурс берется по тому критерию, который дает наименьшее значение остаточного времени. Следует отметить, что если расчетный остаточный ресурс превышает 10 лет, то его принимают равным 10 годам [14].

Прогнозирование ресурса оборудования, подвергающегося коррозии или эрозии. Расчет ресурса по данному критерию ведется по следующей зависимости:

$$T_{к(э)} = (S_{\phi} - S_p) / a,$$

где S_{ϕ} – фактическая минимальная толщина стенки, мм; S_p – расчетная толщина стенки, мм; a – скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год.

Величина a определяется по следующим зависимостям. Если имеется одно измерение контролируемого параметра $S_{\phi}(t_1)$, полученное при обследовании оборудования, то

$$a = (S_n + C_0 - S_{\phi}) / t_1,$$

где S_n – исполнительная толщина стенки, мм; C_0 – плюсовой допуск на толщину стенки, мм; t_1 – время от момента начала эксплуатации до момента обследования, лет.

В том случае, если при очередном обследовании оборудования имеются два измерения контролируемого параметра $S_{\phi}(t_2)$ и $S_{\phi}(t_1)$, то скорость коррозии определяют по выражению:

$$a = [S_{\phi}(t_2) - S_{\phi}(t_1)] / [(t_2 - t_1)] \times K_1 \times K_2,$$

где $S_{\phi}(t_1)$ и $S_{\phi}(t_2)$ – фактическая толщина стенки при первом и втором обследовании; t_1 и t_2 – значение времени от начала эксплуатации оборудования до момента первого и второго обследования, соответственно, лет; K_1 – коэффициент, учитывающий отличие средней ожидаемой скорости коррозии (эрозии) от гарантированной скорости с доверительной вероятностью $\gamma = 0,7 \dots 0,95$ [14]; K_2 – коэффициент, учитывающий погрешность определения скорости коррозии (эрозии) по линейному закону в отличие от скорости, рассчитанной по более точным нелинейным законам изменения контролируемого параметра.

Коэффициенты K_1 и K_2 выбираются на основе анализа результатов расчета скорости коррозии (эрозии) для аналогичного оборудования. Если отсутствуют данные такого анализа, то принимают $K_1 = 0,5 \dots 0,75$ и $K_2 = 0,75 - 1$.

При этом большие значения коэффициентов принимают при незначительной фактической коррозии (эрозии) – менее 0,1 мм/год.

Прогнозирование ресурса оборудования, работающего при циклических нагрузках. При прогнозировании ресурса аппаратов с малоциклическими нагрузками (до 5×10^5 циклов) для определения допустимого числа циклов нагружения $[N]$ необходимо руководствоваться ГОСТ 25859 и ОСТ 26-1046–87. В том случае, когда аппарат работает в условиях многоциклового нагружения (более 5×10^5 циклов), то допустимое количество циклов нагружения $[N]$ может быть определено с помощью зависимостей, приведенных в нормах расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных электростанций ПНАЭ Г-7-002–86.

Ресурс циклической работоспособности сосуда определяется [14] по выражению:

$$T_{ц} = T_3 \times [N] / N_3,$$

где T_3 – время работы аппарата с момента его пуска, лет; $[N]$ – допустимое количество циклов нагружения; N_3 – количество циклов нагружения за период эксплуатации.

При определении $[N]$ используются минимальные значения толщины стенок элементов сосудов S_{ϕ} , определенные при толщинометрии с учетом прибавки на коррозию на момент исчерпания ресурса циклической работоспособности сосуда $T_{ц}$. Остаточный ресурс определяется по выражению:

$$T_{ост} = T_{ц} - T_3.$$

Следует отметить, что если ресурс, рассчитанный по данным формулам, оказался исчерпанным, то необходимо провести диагностику этого оборудования и подвергнуть 100 %-ному контролю места концентраторов и сварных швов. Если при этом не обнаружено растрескивания, то такое оборудование может быть допущено к дальнейшей эксплуатации при регулярной технической диагностике указанных мест [14]. Такая диагностика должна проводиться через промежутки времени, за которые число циклов нагружения сосуда не превосходит $0,1[N]$. Интервалы времени между диагностическими контролями могут быть увеличены. Для этого проводят стандартные испытания (ГОСТ 1497–90, ГОСТ 9651, ГОСТ 111-50–90) с целью определения статических механических характеристик материала оборудования. На основе анализа этих механических характеристик допустимое число циклов нагружения для дальнейшей эксплуатации оборудования определяется по методике, изложенной в ГОСТ 25859–83.

Механические характеристики конструкционного материала определяются по образцам, вырезанным из корпуса оборудования. Определенный при этом ресурс циклической долговечности может быть распространен на аппараты, имеющие однотипную конструкцию, изготовленные из одного конструкционного материала и эксплуатируемые в одинаковых условиях [14].

Прогнозирование ресурса по изменению механических характеристик металла. Часто при эксплуатации оборудования происходит снижение механических характеристик металла оборудования. Состояние механических свойств конструкционного материала оборудования может быть определено путем испытания образцов, изготовленных из контрольных вырезок или путем замера твердости металла (ГОСТ 1497–90, ГОСТ 9651, ГОСТ 111–50–90).

Если снижение механических свойств оказалось менее 5 % от норматива, то все расчеты отбраковочных размеров или количества циклов нагружения проводят по фактическим механическим свойствам материала.

В случае снижения механических свойств металла оказалось более 5 % от нормативных, то определяют скорость снижения механических свойств аналогично определению скорости коррозии по методическим указаниям [14] и путем экстраполяции определяют механические свойства материала к концу ожидаемого периода эксплуатации, а затем и остаточный ресурс.

Определение остаточного ресурса оборудования в условиях ползучести конструкционного материала. Для оборудования, работающего в условиях повышенной температуры, необходимо определять остаточный ресурс с учетом ползучести материала (длительности прочности). Значение температуры, при которой необходимо учитывать ползучесть, следующее: 380 °С и выше – для углеродистых сталей; 420 °С и выше – для низколегированных сталей; 525 °С и выше – для аустенитных сталей. В этом случае в расчетах на прочность допускаемое напряжение определяется по пределу длительной прочности или 1 % предела ползучести для заданного срока эксплуатации (10^5 часов) [14].

Предел длительной прочности (1 % предела ползучести) или допускаемое напряжение для планируемого срока службы определяется по ГОСТ 14249–89, ОСТ 108.31.08–85, ПНАЭ Г-7-002–86.

Для отмеченных выше условий остаточный ресурс оборудования, работающего при непрерывном режиме нагружения, определяется по формуле:

$$T = (S_{\phi} - S_p) / a,$$

где S_{ϕ} – фактическая минимальная толщина стенки, мм; S_p – расчетная толщина стенки, определенная по допускаемым напряжениям, учитывающим предел длительной прочности материала (1 % предела ползучести), мм; a – скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год.

Величина a определяется по зависимостям, которые были приведены выше.

В случае, когда выявлена остаточная деформация ползучести при очередном диагностировании (не более чем через 4 года) для фиксированного размера диаметра сосуда или другого размера в кольцевом направлении в местах с наиболее высокой температурой, общий ресурс сосуда может быть определен по следующей зависимости [14]:

$$T_n = 1 / a_n,$$

где a_n – скорость установившейся ползучести, % / год.

Остаточный ресурс сосуда в этом случае определяется по формуле:

$$T_{\text{ост}} = T_n - T_3,$$

где T_3 – продолжительность эксплуатации оборудования от начала до последнего обследования.

Величина скорости установившейся ползучести определяется по формуле:

$$a_n = 100[L_{\phi}(t_1) - L_{\phi}(t_2)] / L_{\phi}(t_1) \times \Delta t \times K_1 \times K_2,$$

где $L_{\phi}(t_1)$, $L_{\phi}(t_2)$ – фактические размеры диаметра сосуда или другого фиксированного линейного размера в кольцевом направлении при первом и втором обследованиях, соответственно, мм; Δt – время между первым и вторым обследованиями, лет; K_1 – коэффициент, учитывающий отличие средней ожидаемой скорости ползучести от гарантированной скорости ползучести с доверительной вероятностью $\gamma = 0,7 \dots 0,95$ [14]; K_2 – коэффициент, учитывающий погрешность определения скорости ползучести по линейному закону, от скорости ползучести, рассчитанной по более точным нелинейным законам изменения контролируемого параметра.

Значения коэффициентов K_1 и K_2 следует принимать в пределах: $K_1 = 0,5 \dots 0,75$; $K_2 = 0,75 \dots 1,0$. При этом большие значения коэффициентов принимают при незначительной скорости ползучести (менее 0,05 % в год) и при общей остаточной деформации менее 0,5 %.

В случае проведения очередного диагностирования имеются три или более значений контролируемого параметра L , тогда для определения скорости ползучести следует пользоваться рекомендациями, изложенными в [14].

Прогнозирование ресурса по критерию хрупкого разрушения материала оборудования. Это прогнозирование проводится в следующих случаях:

- минимальная температура стенки аппарата при эксплуатации или гидроиспытаниях может быть меньше предусмотренной для конструкционного материала в правилах устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 10-115–96);
- сталь или сварные соединения при эксплуатации или испытаниях имеют ударную вязкость ниже значений, предусмотренных правилами ПБ 10-115–96);
- при диагностике оборудования обнаружены дефекты, превышающие нормы, установленные правилами ПБ 03-384–00 и ОСТ 24.201.03–90);
- при диагностировании оборудования выявлены трещины, которые были заварены и проверены вновь на отсутствие дефектов.

В этих случаях условие сопротивления хрупкому разрушению проверяется выполнением соотношения:

$$K_1 \leq [K_1],$$

где K_1 – коэффициент интенсивности напряжений; $[K_1]$ – допустимый коэффициент интенсивности напряжений. Для определения коэффициента интенсивности напряжений K_1 используют методику, изложенную в правилах ПНАЭ Г-7-002–86. Допустимый коэффициент интенсивности напряжений $[K_1]$ определяется по формуле:

$$[K_1] = K_{1\text{кр}} / n_k,$$

где $K_{1\text{кр}}$ – критический коэффициент интенсивности напряжений; n_k – коэффициент запаса прочности по трещиностойкости. Для условий эксплуатации $n_k = 2$; для условий испытаний $n_k = 1,5$.

Критический коэффициент интенсивности напряжений $K_{1\text{кр}}$ может определяться на основании результатов испытания конструкционного материала на хрупкое разрушение в соответствии с требованиями ГОСТ 25.506–85. В случае невозможности проведения таких испытаний можно его определять по правилам ПНАЭ Г-7-002–86. При этом за критическую температуру хрупкости материала следует принимать минимальную температуру применения сталей по правилам ПБ 03-384–00 и ОСТ 24.201.03–90.

Остаточный ресурс по критерию хрупкого разрушения конструкционного материала оборудования определяется в зависимости от первоначального расчетного срока $T_{\text{пр}}$, от объема контроля при техническом диагностировании и от вероятности хрупкого разрушения по выражению:

$$T_{\text{хр}} = b \times T_{\text{пр}},$$

где b – коэффициент, определяемый по графику, приведенному в [14].

В заключение данного раздела следует отметить, что для надежного прогнозирования остаточного ресурса необходимо использовать математическое моделирование, которое может показывать процесс эволюции технических характеристик объекта во времени. При отсутствии объективной информации при расчете остаточного ресурса применяется метод экспертных оценок, основанный на учете мнений специалистов (экспертов). Экспертное заключение дает рабочая группа, общее мнение которой формулируется в результате дискуссии [24].

Контрольные вопросы к разделу «Основы определения остаточного ресурса работы оборудования»

1. *Что является основой для определения остаточного ресурса работы оборудования?*
2. *С какой целью делают расчет остаточного ресурса?*
3. *Какие данные необходимы для прогнозирования ресурса оборудования, подвергающегося коррозии или эрозии?*
4. *Каким принимается остаточный ресурс, если расчет показал, что он равен для одного типа аппарата 5 годам, а для другого типа 15 годам?*
5. *По какому критерию принимается остаточный ресурс, если прогнозирование его проводилось параллельно по нескольким критериям и были получены различные результаты?*

2. ОСНОВЫ РЕМОНТА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Основные понятия. Ремонт – процесс восстановления работоспособности машин и аппаратов, в результате которого основные рабочие параметры оборудования приводятся в пределы, установленные его технической документацией.

Проблемы ремонта оборудования решает теротехнология. Это наука об обслуживании техники. Она обобщает и систематизирует принципы и элементы технического обслуживания и ремонта с учетом морального износа. Теротехнология – технология обеспечения эффективного функционирования оборудования в течение всего срока службы. Она увязывает это обеспечение с качеством проектирования, монтажа и эксплуатации оборудования.

В процессе эксплуатации оборудования детали постоянно изнашиваются и изменяются под влиянием внешних нагрузок, внутренних технологических напряжений и коррозионного воздействия. Этот износ характеризуется отклонениями размеров и формы деталей, изменением механических и химических свойств поверхностных и внутренних слоев деталей. Совокупность таких изменений при достижении определенных границ называется эксплуатационным повреждением детали. Оно устраняется ремонтом или заменой данного узла. Ремонту предшествует диагностика машин и аппаратов, основы которой изложены в первом разделе настоящего пособия.

Ремонт оборудования включает в себя комплекс мероприятий, осуществляемых с целью восстановления нормальной работоспособности деталей, узлов, агрегатов. Технологические ремонты состоят из следующих этапов:

- разборка машины и ее дефектация;
- ремонтная обработка деталей;
- сборка узлов и машин с проверочными операциями;
- испытание машин и аппаратов.

Ремонтом и эксплуатацией технологического оборудования, сооружений и коммуникаций руководит служба главного механика предприятия. Главный механик подчиняется главному инженеру и директору. Структура ремонтно-механического хозяйства завода представлена на рис. 2.1.

Служба главного механика выполняет следующие работы:

- надзор за состоянием оборудования и строительных конструкций;
- составление плана на ремонт оборудования;
- организация мероприятий по ремонту;
- внедрение новых процессов по ремонту оборудования;
- контроль стоимости ремонтных работ;
- составление отчетов по ремонту;
- разработка чертежей по ремонту оборудования приспособлений, механизмов;
- собственно ремонт.

Сама ремонтная служба может быть централизованной, децентрализованной и смешанной. *Централизованная* служба предполагает, что ремонт всего оборудования выполняется силами ремонтно-механического цеха (РМЦ). Для *децентрализованной* службы характерно то, что все виды ремонтных работ выполняются на ремонтных участках технологических цехов. При *смешанной* службе ремонт проводится как силами РМЦ, так и силами ремонтных отделений технологических цехов.

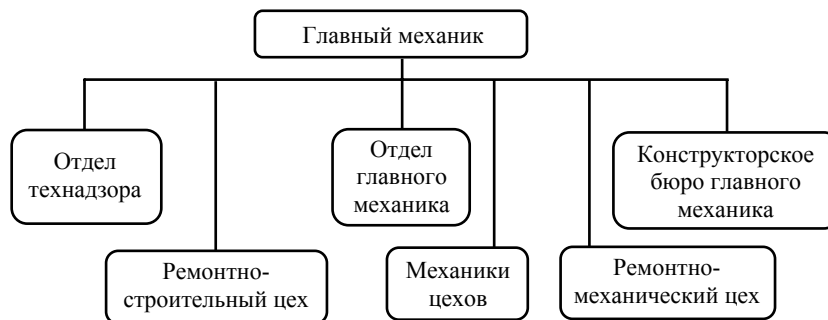


Рис. 2.1. Структура ремонтного хозяйства завода

Смешанная служба ремонта позволяет внедрить прогрессивные способы организации ремонта: агрегатно-узловой, скоростной и серийный ремонт (бригадный поточно-ускоренный).

При *агрегатном* способе ремонта ремонтно-механическая мастерская предприятия (комбината, объединения) или треста производит ремонт узлов и агрегатов обменного фонда.

В ремонтной практике под ремонтным узлом понимают сборочные единицы, состоящие из соединенных между собой деталей (коробка скоростей, редуктор и т.п.)

Ремонт, при организации которого прежде всего преследуется сокращение его продолжительности и реализуются все возможности уменьшения простоя оборудования, называется *скоростным ремонтом*.

Сокращение простоя оборудования в ремонте достигается за счет следующих мероприятий:

- технической и материальной подготовки ремонтных работ, исключающей перерывы в их выполнении из-за отсутствия деталей, инструмента;
- применение при ремонте наиболее производительных методов и приемов выполнения слесарных работ и необходимой для этого оснастки;
- правильной организации слесарных работ, исключающей перерывы в работе, вызванных выходными днями и нерабочими сменами;
- применение при ремонте заранее изготовленных или отремонтированных сборных единиц;
- привлечение к ремонту рабочих, хорошо знающих подлежащее к ремонту оборудование, имеющих практический опыт в его ремонте и необходимую квалификацию;
- создание материальной и моральной заинтересованности исполнителей в завершении ремонтных работ в возможно короткие сроки и выполнении их в наиболее выгодное для производства время.

При *серийном* способе (бригадный поточно-ускоренный) ремонт производится специализированными бригадами ремонтных предприятий, где имеется большая программа ремонта однотипных машин, узлов, деталей. В таких бригадах широко применяются специальные приспособления, инструменты и имеется возможность закрепить выполнение отдельных операций за определенными рабочими. Поэтому такая бригада способна достичь значительно более высокой производительности труда, провести ремонт быстрее, качественнее и дешевле.

2.1. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Для поддержания в рабочем состоянии технологического оборудования необходим комплекс организационных и технических мероприятий по обслуживанию и ремонту машин и аппаратов, трубопроводов и арматуры. Наиболее распространенным таким комплексом является система планового предупредительного ремонта (ППР). При этом мероприятия по обслуживанию и ремонту оборудования проводятся по заранее составленному плану для обеспечения безотказной работы оборудования.

Система ППР предусматривает следующие виды обслуживания и ремонтов: а) техническое обслуживание; б) текущий ремонт; в) капитальный ремонт.

Техническое обслуживание – это эксплуатационный уход и мелкий ремонт оборудования. Данное мероприятие включает наружный осмотр, смазку, проверку заземления, подтяжку креплений, замену предохранителей и т.п. Техническое обслуживание осуществляется эксплуатационным персоналом: аппаратчик, слесарь, электрик. Все неисправности фиксируются в сменном журнале. Изложенное выше показывает, что техобслуживание иногда требует остановки оборудования. Следует отметить, что эти остановки невозможно предусмотреть.

Текущий ремонт – выполняется с разборкой отдельных сборочных единиц; включает следующие операции: промывку оборудования, регулировку узлов, ремонт и замену деталей, ремонт антикоррозийных покрытий.

В зависимости от характера и объема работ текущий ремонт иногда подразделяют на два вида T_1 и T_2 . Текущий ремонт T_1 включает в себя очистку оборудования и осмотр его, регулировку зазоров в узлах машин, подтяжку или замену уплотнений, мелкий ремонт систем охлаждения и смазки. Текущий ремонт T_2 , кроме работ, предусмотренных ремонтом T_1 , включает в себя центровку и балансировку вращающихся деталей, замену и ремонт подшипников и зубчатых колес, а также испытание оборудования.

Текущий ремонт можно производить в нерабочие смены, а при непрерывном процессе в дни, специально предусмотренные планом. Выявленные дефекты и результаты текущего ремонта регистрируются в ремонтной карте.

Капитальный ремонт – характеризуется одновременной заменой большого количества деталей, сборочных единиц и комплексов. При капитальном ремонте оборудование полностью восстанавливается. В этот ремонт входят: промывка и полная разборка оборудования, ремонт и замена деталей и сборочных единиц, проверка фундаментов и станин, сборка машины с испытанием на холостом ходу и под нагрузкой. Также в капитальный ремонт могут быть включены работы по модернизации и автоматизации оборудования.

После капитального ремонта оборудование сдается по акту комиссии в составе главного механика, инженера, отдела технадзора, инженера по ТБ и начальника производства. Следует отметить, что при планировании ремонтов с длительной остановкой оборудования, особенно капитального ремонта, предусматривают проводить эти мероприятия в теплое время года, так как часть оборудования находится на открытых площадках.

Кроме рассмотренных видов ремонта, может иметь место и внеплановый ремонт, как следствие аварии. Такой ремонт выполняется как срочная внеплановая работа, которая может носить характер текущего или капитального ремонта.

Перед остановочным ремонтом должны быть проведены подготовительные работы: сооружение лесов, изготовление фланцев, получение сложных узлов с машиностроительных заводов. Для остановочного ремонта разрабатывается проект проведения ремонта, который включает следующие этапы:

- подготовка техдокументации (чертежи оборудования, ремонтные чертежи);
- описание технологии ремонта;
- описание и подготовка ремонтной оснастки;
- составление дефектной ведомости.

Дефектная ведомость составляется после диагностики оборудования и его деталей. Детали при этом сортируют на три группы: годные (износ в пределах допуска); требующие ремонта; негодные (подлежащие замене). Рекомендуют помечать годные детали белой краской, требующие ремонта – зеленой или желтой, негодные – красной.

Дефектная ведомость – основной документ, определяющий объем ремонтных работ. В дефектной ведомости перечисляются дефекты по каждому узлу с указанием заменяемой или ремонтируемой детали. Она является основным документом для определения количества ремонтных рабочих и стоимости ремонтных работ. В состав этой ведомости часто включается перечень ремонтных и монтажных работ, составленный бригадиром специализированной ремонтной бригады.

Правильность составления дефектной ведомости контролируется механиком цеха. Анализ этих ведомостей дает возможность определить срок службы деталей, что важно при планировании обеспечения запасными деталями и ремонтными материалами, а также позволяет уточнить объем работы, стоимость ремонта и взаиморасчеты с заказчиком.

Детали в ведомость дефектов заносят в порядке разборки оборудования, механизма или сборочной единицы. Ведомость дефектов согласовывают с начальником цеха (участка), в котором установлено оборудование. Она имеет вид, представленный на рис. 2.2.

Цели, которые достигаются при реализации ремонтной системы ППР следующие:

- предупреждение аварий оборудования;
- возможность выполнения ремонтных работ по плану, согласованному с планом производства;
- своевременная подготовка запчастей материалов и минимальный простой оборудования в ремонте.

Для каждого конкретного производства система планово-предупредительных ремонтов реализуется в виде графиков ППР, составляемых на 1 год. Эти графики составляются отделом главного механика. В графиках на каждую единицу оборудования указываются сроки проведения их по месяцам и нормативы времени и трудоемкости при выполнении ремонтов.

Ведомость дефектов № _____

на _____ ремонт. Заказ № _____
 Наименование оборудования _____
 Инвентарный № _____ марка _____ модель _____

№ п/п	Наименование дефектов, подлежащих устранению, и заменяемых деталей	Единицы измерения	Количество	Примечание

Дата составления ведомости: _____

Место ремонта: _____

Главный механик: _____

Бригадир ремонтников: _____

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер _____

ГРАФИК

текущих ремонтов оборудования _____
 (наименование предприятия)

№ п/п	Наименование оборудования	Инв. № машины	месяцы												
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
1	Реактор № 1	Р-1	10/1					16/1					10/1		
2	То же, № 2	Р-2		10/1					10/1					10/1	

3	То же, № 3	Р-3			10/1				16/1					16/1
4	Фильтр № 1	Ф-1	15/9							15/9				
5	То же, № 2	Ф-2		15/9							15/9			
6	Насос № 1	Н-1			15/2							15/2		
7	То же № 2	Н-2		5/2							5/2			

Примечание: В числителе обозначается начало текущего ремонта (число месяца), а в знаменателе – продолжительность ремонта в часах.

Гл. механик _____

Рис. 2.3. График текущих ремонтов оборудования

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер _____

ГРАФИК

капитальных ремонтов оборудования _____
(наименование предприятия)

№ п/п	Наименование оборудования	Инв. № машины	месяцы												
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
1	Реактор № 1							10/5							10/5
2	То же, № 2			10/5								10/5			
3	То же, № 3	10/5								10/5					
4	Фильтр № 1		20/10										20/10		
5	То же, № 2				20/10										20/10
6	Насос № 1			2/6							5/6				
7	То же, № 2	2/6							5/6						

Примечание: В числителе обозначается начало капитального ремонта (число, месяц), а в знаменателе – продолжительность ремонта в днях.

Гл. механик _____

Рис. 2.4. График капитальных ремонтов оборудования

На рис. 2.3 и 2.4 для примера представлены графики текущих и капитальных ремонтов оборудования, которые разрабатываются отделом главного механика. Как видно из этих графиков, ремонты при планировании стараются по возможности распределить равномерно по месяцам и дням.

На основании графиков может составляться месячный график плановых ремонтов с уточнением дат ремонта

При составлении плана учитывается межремонтный цикл – это повторяющаяся совокупность различных видов планового ремонта, выполняемых в предусмотренной последовательности [17]. Ремонтный цикл определяется временем работы оборудования между двумя капитальными ремонтами. В ремонтный цикл входит, кроме текущего (ТР) и капитального (КР) ремонтов, также и техническое обслуживание (ТО). Условно ремонтный цикл можно изобразить следующим образом:

КР – ТР – ТР – ТО – ТР – ТР – КР.

Следует отметить, что в процессе реализации ППР содержание, объем, категория ремонта могут меняться с учетом выявленного состояния оборудования.

Составление графиков ППР и учет их выполнения сложная техническая задача, для решения которой используют ЭВМ и автоматизированные системы управления (АСУ). Для создания и внедрения АСУ необходимо иметь пять видов обеспечения [18]: организационное, информационное, математическое, программное и техническое.

Организационное обеспечение – взаимодействие персонала с техническими средствами и между собой.

Информационное обеспечение – система документооборота, оптимизированная путем возможного сокращения действующих документов строгим ограничением потоков информации при обеспечении полноты и достоверности.

Математическое обеспечение – совокупность математических методов и моделей для обработки информации и решения задач.

Программное обеспечение – использование типовых программ при решении вышеизложенных задач.

Техническое обеспечение – комплекс технических средств, состоящий из ЭВМ с дополнительными устройствами и системой связи.

2.2. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА РЕМОНТА

Перед началом ремонтных работ проводят организационно-техническую подготовку. Главный механик предприятия через свои службы (см. рис. 2.1) обязан обеспечить: разработку годовых графиков ППР; учет и паспортизацию всего оборудования с присвоением каждой машине (агрегату) инвентарного номера; учет технического состояния оборудования в производственных цехах с заполнением персоналом журнала приема-сдачи смен; наличие руководства по ремонту (текущему или капитальному); технические указания на капитальные и текущие ремонты с комплектом ремонтных чертежей, а также каталог деталей и сборочных единиц; наличие норм расхода запасных деталей и материалов.

Годовой график ремонта составляют на каждую единицу оборудования на основании данных учета работы ее, структуры и продолжительности межремонтного цикла и отработанного времени за период от последнего планового ремонта оборудования.

На базе утвержденного годового графика составляют уточненные графики на каждый месяц. Месячным графиком устанавливают по возможности равномерную загрузку ремонтного персонала. Для предприятий с сезонным производством выполнение ремонтных работ планируют в межсезонный период во время наименьшей нагрузки, а также в период плановых остановок оборудования цехов и предприятия в целом.

Среднегодовую численность персонала $T_{ст}$ для выполнения плановых ремонтов и осмотров определяют на основании годового плана ремонта оборудования [19]:

$$T_{ст} = \frac{(T_{кр} \sum R_k + T_{рт} \sum R_r + T_{ро} \sum R_o) K_n}{\Phi},$$

где $T_{кр}$, $T_{рт}$, $T_{ро}$ – нормы трудоемкости на одну ремонтную единицу для капитального, текущего ремонтов и профилактического осмотра, чел.-ч; $\sum R_k$, $\sum R_r$, $\sum R_o$ – суммарное годовое количество ремонтных единиц при капитальных, текущих и профилактических осмотрах; K_n – коэффициент выполнения норм времени, достигнутый в предыдущем году; Φ – эффективный годовой фонд рабочего времени, ч.

Потребность в запасных частях должна обеспечить осуществление всех видов ремонта и бесперебойной эксплуатации оборудования. Однако запас их не должен превышать определенную норму. Отдел главного механика устанавливает экономически целесообразные нормы запаса деталей на предприятии на основе типовых норм расхода запасных частей на изделие.

Различают две группы запасных деталей: а) систематически заменяемые детали; б) резервные детали, заменяемые при капитальном ремонте, аварии и внеплановом ремонте. Норма запаса деталей определяется по выражению

$$H = A \cdot D \cdot P \cdot K_A \cdot K_D / T,$$

где A – количество действующих однотипных машин; D – количество однотипных деталей в одной машине; P – срок, на который следует делать запас (он равен сроку на заказ, изготовления, поставку детали); K_A и K_D – поправочные коэффициенты, зависящие от A и D ; T – срок службы данной детали.

Следует отметить, что K_A и K_D можно определить по следующей таблице.

A	K_A	D	K_D
1...5	1	1	1
6...10	0,9	2	0,8
11...15	0,8	3...4	0,7
16...20	0,7	5...6	0,6
21...25	0,6	7...8	0,5
26...30	0,5	9...10; 11...12	0,4; 0,3

При разборке и сборке оборудования в целях замены изношенных узлов или их восстановления применяют разные грузоподъемные механизмы: штатные мостовые краны, автомобильные краны, погрузчики, самомонтирующиеся козловые краны, штанговые подъемники, тали, рычажные лебедки и др.

При ремонте оборудования на месте его установки широко применяют ручной механизированный инструмент (электрифицированный и пневматический): сверлильные машины, кромокорезы, гайковерты, шлифовальные машины, электровальцовки. Часто такой инструмент применяют для расточки отверстий в трубных досках теплообменных аппаратов, для

снятия заусенцев и торцовки труб, при удалении труб, подлежащих замене, для проточки седел корпусов вентиля и задвижек, для притирки трубопроводной арматуры [19, 20].

2.3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

В процессе эксплуатации оборудования могут изнашиваться как отдельные детали его (валы, втулки, шестерни и т.д.), так и повреждаться аппараты в целом (загрязнение, разгерметизация, эрозионный и коррозионный износ). Естественно, работоспособность технологического оборудования постепенно падает вследствие ряда изменений. К этим изменениям относятся:

- а) загрязнение рабочих поверхностей, что ведет к уменьшению полезной емкости, снижению теплопроводности;
- б) потеря герметичности соединений отдельных частей аппаратов, которая ведет к снижению производительности или исключает дальнейшую эксплуатацию;
- в) поверхностный износ снижает толщину стенки аппарата и выводит его из строя;
- г) местные изменения формы аппарата ведут к снижению надежности;
- д) местные нарушения целостности стенок аппарата в виде трещин и течей, что также исключают дальнейшую эксплуатацию его.

Загрязнения рабочих поверхностей происходят из-за механических примесей в исходном сырье, отложения накипи или кристаллов и т.п. Устраняются эти загрязнения чисткой (см. ниже).

Потеря герметичности возникает вследствие агрессивного воздействия среды, снижения упругих свойств прокладки и болтов, а также повреждения целостности неразъемных соединений: сварки, клепки, пайки. Устраняются эти неполадки подтяжкой болтов, сменой прокладок, переваркой швов. На все аппараты, работающие под давлением, должны составляться браковочные нормы и правила эксплуатации. Для сохранения запаса прочности вводится добавка на коррозию. Чтобы избежать повреждений, изменений формы аппарата, необходимо предусматривать распорки, ребра жесткости.

Трещины чаще всего появляются в местах концентрации напряжений (сварные швы, изгибы и т.п.). Поэтому аппараты в соответствии с ППР должны подвергаться переосвидетельствованию и текущему ремонту.

2.3.1. Износ деталей

Под *износом* понимают постепенное поверхностное разрушение материала с изменением геометрических форм и свойств поверхностных слоев деталей. Износ может быть нормальным и аварийным. В зависимости от вызывающих причин износ деталей подразделяется на химический и физический и износ схватыванием металла (тепловой износ).

Нормальным износом называют изменения размеров и свойств материалов деталей, происходившие в условиях правильной эксплуатации оборудования. Интенсивность нормального изнашивания определяется главным образом особенностями конструкции узлов, износостойкостью использованных материалов, а также правильностью эксплуатации и ремонта оборудования.

Нормальный износ неизбежен, однако, на интенсивность его протекания может оказать влияние качество монтажа, эксплуатации и ремонта оборудования. При отдельных неблагоприятных условиях нормальный износ переходит в аварийный.

Аварийным износом называют изменения размеров и свойств материалов деталей, происшедшие в относительно короткий срок из-за неправильного монтажа, эксплуатации, неудовлетворительного технического обслуживания или некачественного ремонта оборудования.

Химический износ поверхности заключается главным образом в образовании на ней и последующем отслоении тончайших пленок оксидов. Пленки оксидов образуются в результате химического поглощения (хемосорбции) поверхностными слоями металла кислорода, поступающего из воздуха или образующегося в результате распада компонентов смазок. Происходящее в результате химического износа разрушение сопровождается появлением осповидных язвин, разъеданием металла или появлением ржавчины.

В результате *физического износа*, (причиной которого могут быть знакопеременные нагрузки, поверхностное трение, абразивное и механическое воздействие) на деталях появляются микротрещины, поверхность деталей становится шероховатой. Основными видами физического износа являются усталостный, осповидный, абразивный и эрозия.

Усталостный износ наблюдается у деталей, подверженных многократному действию знакопеременных и меняющихся по величине однозначных нагрузок, в результате которых образуются микротрещины, а затем происходит полное разрушение (поломка) детали.

Осповидный износ (рис. 2.5) возникает при сухом и особенно жидкостном трении качения и характеризуется образованием на периодически нагружаемых поверхностях трещин с последующим отслаиванием пленок от 0,005 до 0,2 мм. Осповидному износу подвержены детали подшипников качения, рабочие поверхности зубьев шестерен.

Абразивный износ – это разрушение поверхности деталей мельчайшими частицами более твердых материалов. Абразивными могут быть частицы металлов, продукты окисления смазки, минеральные частицы (песок, стружка и др.), попадающие извне. Абразивному износу подвержены поверхности всех узлов трения.

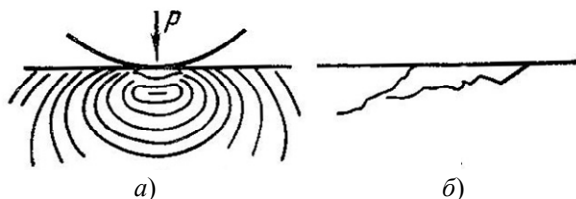


Рис. 2.5. Схема осповидного износа:

а – схема касательных напряжений, возникающих при вдавливании цилиндра или шара в плоскую поверхность; б – схема образования трещины

Эрозия – механическое разрушение (размывание, разъедание) поверхностных слоев материалов деталей, перемещающихся с большой скоростью, частицами газообразной, жидкой или твердой фазы – протекает совместно с интенсивными окислительными процессами.

Износ схватыванием металла характеризуется возникновением и последующим разрушением молекулярных связей на поверхности трения (изменение структуры зерен, понижение твердости, оплавление, отпуск и т.п.) Условия для возникновения связей вызываются как относительно низкими, так и высокими температурами контактируемых участков. Этот вид износа наблюдается у различных деталей паровых котлов, двигателей, компрессоров и холодильных машин [19].

На характер и величину износа оказывают влияние многие факторы конструктивного и эксплуатационного порядка: качество материала деталей, качество обработки, смазка, скорость движения трущихся деталей, нарушение посадок, нарушение взаимоположения деталей в сопряжениях. Это должно учитываться при изготовлении и восстановлении ремонтируемых деталей [19, 20].

2.3.2. Основные способы восстановления деталей [19 – 21]

Детали, первоначальные размеры которых в процессе эксплуатации изменились, во многих случаях могут быть восстановлены. При деформировании, частичном разрушении или повреждении детали восстанавливают правкой, сваркой, пайкой, склеиванием и т.д. После этого заготовку со строгой координацией взаиморасположения рабочих поверхностей подвергают механической обработке для получения детали заданных размеров.

Для ремонта и восстановления деталей применяют следующие способы: сварка электродуговая, газовая, под слоем флюса, в среде защитных газов; пайка мягкими и твердыми припоями; механическая и слесарная обработка для постановки дополнительных элементов; клеевая заделка; наплавка износостойких сплавов (вибродуговая, электроимпульсная, под слоем флюса, в среде защитных газов); электроискровое наращивание или разрушение (эрозия); металлизация (электродуговая, высокочастотная); нанесение на изношенные места полимерных материалов в виде отвердевающих композиций.

Выбор того или иного метода восстановления деталей обуславливается его экономичностью. Выгодным является тот метод, который полностью восстанавливает эксплуатационно-технические характеристики детали, при этом стоимость ее восстановления ниже стоимости изготовления новой детали, а сроки восстановления – короче сроков изготовления новой.

Ремонт с установкой добавочных деталей и компенсаторов. Деталь с дефектом поверхности (нарушен присоединительный размер или ее чистота) обрабатывают на станке или с помощью ручного приспособления до таких размеров, чтобы можно было на обработанную поверхность установить дополнительную (ремонтную) деталь. Рабочая поверхность отремонтированной детали должна соответствовать техническим требованиям, предъявляемым к новой детали. Этот способ применяют при ремонте корпусных деталей машин, центровых отверстий шкивов, муфт сцепления и зубчатых колес.

Размеры изношенных внутренних цилиндрических поверхностей обычно восстанавливают за счет размещения ремонтной втулки. Размеры изношенных валов восстанавливают напрессовкой наружных втулок.

Ремонт деталей сваркой, наплавкой и пайкой. Для качественного ремонта оборудования сваркой механические свойства металла шва, околошовной зоны и сварного соединения в целом должны быть не ниже свойств основного материала. Это достигается правильным выбором присадочного материала, покрытий электродов и соблюдением оптимальных режимов сварки. Зону швов тщательно зачищают от коррозии и других загрязнений (очистка должна по ширине на каждую сторону на 10 мм превышать ширину шва). На кромках снимают фаски под намеченный вид шва.

Низкоуглеродистые стали можно сваривать как газовой, так и электродуговой сваркой. Среднеуглеродистые стали лучше сваривать электродуговой сваркой. Для сварки деталей, подверженных значительным динамическим нагрузкам, используют присадочные материалы, содержащие никель.

Марганцовистые и низколегированные стали можно варить как газовой, так и электродуговой сваркой. Высокопрочные низколегированные и различные специальные стали сваривают по особой технологии с применением специальных материалов и электродных покрытий. Упрощенный подход к сварке специальных сталей может привести к отрицательным результатам. Подготовка кромок дефектов детали к сварке производится вырубкой, фрезерованием, сверлением до чистого металла. Использование при этом сварочной дуги и сварочных горелок недопустимо.

Существуют различные способы разделок кромок [21] под сварку (рис. 2.6). Трещины заваривают, накладывая шов короткими валиками с обоих концов ее, начиная от высверленных отверстий (предотвращение увеличения длины трещины).

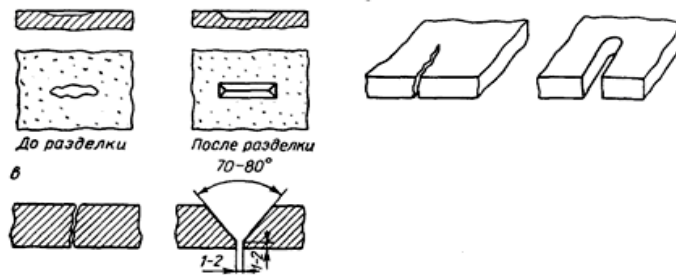


Рис. 2.6. Схема подготовки дефекта к сварке:

a – трещина в середине детали; *б* – трещина на краю детали;
в – разделка кромок для сварки

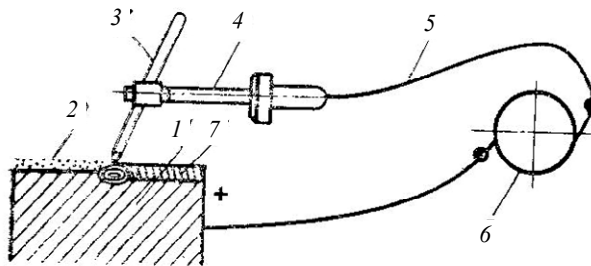


Рис. 2.7. Схема наплавки твердым сплавом:

1 – деталь; *2* – слой сталинита; *3* – электрод; *4* – электрод; *5* – гибкий провод;
6 – сварочный аппарат; *7* – слой наплавленного металла

Наплавка. Это наиболее доступный и распространенный способ восстановления. Существует два способа наплавки: твердым сплавом и металлизацией. При наплавке твердым сплавом изношенные места деталей наплавляются твердым сплавом в количестве, обеспечивающем прежние размеры детали с учетом ее обработки. Твердыми сплавами можно наплавливать рабочие поверхности (для укрепления) как изношенных, так и новых деталей оборудования.

При ремонте оборудования для наплавки деталей можно применять сталинит, сормант и электроды с износостойкими обмазками. С помощью наплавки твердых сплавов (рис. 2.7) можно восстанавливать зубчатые колеса, шлицевые валы, зубья блоков конвейеров, кулачки и т.д.

Последовательно нанося ряд слоев на металл, можно получить общую толщину наплавленного слоя в несколько миллиметров. На деталь можно наносить различные сплавы и металлы – сталь, медь, алюминий др. Перед металлизацией поверхность очищают от грязи, обезжиривают и придают шероховатость. Проволока для металлизации (присадочный материал) подбирается в зависимости от назначения и материала ремонтируемой детали. Металлизация применяется в основном для восстановления изношенных деталей цилиндрической формы: валов, втулок, штоков, а также в особых случаях, например, в целях повышения жаростойкости, улучшения теплопроводности.

Механическую обработку деталей, наплавленных твердым сплавом, производят резцами с пластинками из твердых металлокерамических сплавов и шлифовальными кругами. Твердые сплавы можно наплавливать на стальные и чугунные детали (с предварительным подогревом).

Применяется также наплавка металлизацией. Наплавка металлизацией состоит в нанесении на поверхность мельчайших частиц расплавленного металла при помощи специального аппарата металлизатора.

Ремонт деталей пайкой. Пайку используют при ремонте машин, аппаратов, трубопроводов, для соединения и закрепления тонкостенных деталей и деталей из разнородных металлов, уплотнения резьбовых соединений, устранения пористости сварных швов, пористости чугунных и бронзовых отливок.

Технология процесса пайки состоит из следующих операций: 1) механическая очистка поверхностей; 2) нагрев места пайки до температуры плавления припоя; 3) удаление окислов с поверхностей и предохранение их от окисления при пайке; 4) введение припоя в место пайки; 5) обработка шва.

В зависимости от технических требований к паяльным соединениям применяют пайку легкоплавкими (температура плавления до 500 °С) или тугоплавкими припоями (свыше 500 °С).

Механическая очистка поверхностей при пайке производится напильником, шабером или наждачной бумагой. Для удаления с поверхностей соединяемых деталей пленки окислов и других примесей, препятствующих пайке, используют флюсы в виде порошков или паст, которые насыпают или намазывают в необходимом месте. Температура пайки должна быть на 45 – 50 °С выше температуры расплавления припоя.

Ремонт деталей с применением давления. Способ основан на восстановлении размеров путем перераспределения металла в объеме детали. Направленное перемещение металла достигается с помощью специальных приспособлений: матриц, пуансонов, оправок; при этом прикладываются усилия, превышающие предел текучести материала.

Ремонт способом пластической деформации (рис. 2.8) применим только для деталей, изготовленных из пластических материалов: сталь, медь, алюминий, латунь. Для повышения пластичности детали перед обработкой ее предварительно отжигают.

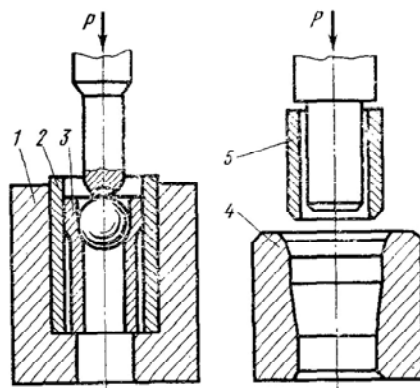


Рис. 2.8. Схема изменения размеров детали пластической деформацией:
а – раздача поршневого кольца; *б* – обжим втулки; 1 – основание; 2 – матрица;
 3 – палец; 4 – обжимка; 5 – втулка

Существуют способы восстановления деталей давлением. К ним относятся: осадка, раздача, обжим, правка, накатка и чеканка.

Осадку применяют для увеличения наружного диаметра или уменьшения внутреннего диаметра за счет уменьшения высоты детали.

Раздачей восстанавливают полые цилиндрические детали, у которых износ наружной поверхности компенсируется за счет уменьшения толщины стенки.

Обжим применяют для уменьшения размера внутренней поверхности за счет уменьшения размера наружной поверхности детали. Наружный диаметр обжатой втулки восстанавливают электролитическим путем, а внутренний диаметр развешивают до требуемого размера.

Правкой восстанавливают валы, оси, тяги, штанги, рычаги, балки и другие детали. Процесс осуществляют на прессах, плитах с помощью специальных приспособлений. Детали выправляют в холодном состоянии или после нагрева (при наличии в них больших деформаций).

Накаткой увеличивают размеры термически необработанных поверхностей, на которых устанавливают детали с неподвижной посадкой (шейки валов и осей и др.). Цилиндрические поверхности накатывают рифленным роликом на токарном станке. Аналогичный результат получают при частной керновке поверхностей. Накатанную или накерненную деталь шлифуют под размер, обеспечивающий необходимую посадку.

Чеканка заключается в устранении дефектов (непроваров, раковин, мелких трещин) за счет пластичной деформации поверхностных слоев металла с помощью специальных инструментов – чеканок. Этот способ ремонта применяется преимущественно для устранения небольших течей в сварных и клепанных швах теплообменных аппаратов.

Кроме вышеперечисленных, в промышленности находят применение следующие способы: ремонт деталей путем электролитического наращивания металла; химико-термическая обработка при ремонте деталей; ремонт деталей электроискровой обработкой; ремонт деталей из пластических масс механической обработкой и сваркой; ремонт деталей склеиванием и защитой поверхностей деталей от коррозии.

Контрольные вопросы к разделу «Эксплуатационные повреждения оборудования»

1. Вследствие каких изменений падает работоспособность оборудования?
2. Назовите основные виды износа деталей оборудования.
3. Каким основным фактором определяется выбор метода восстановления деталей?
4. Каков порядок выполнения деталей сваркой, наплавкой и пайкой?
5. Назовите основные способы восстановления деталей с помощью давления.

2.4. РЕМОНТ ТИПОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В данном разделе рассматривается ремонт основного химического оборудования.

2.4.1. Подготовка оборудования к ремонту

Первичная подготовка (проведение мероприятий по технике безопасности) заключается в следующих операциях: а) аппарат отключают от действующих агрегатов, ставят заглушки на трубопроводы; б) предварительно продувают паром или инертным газом и выпускают отработанную смесь из аппарата через «свечу»; в) среду в аппарате проверяют на вспышку и токсичность (берут пробу).

Предварительная очистка аппарата: а) кислотную аппаратуру промывают слабым раствором щелочи, а потом водой; б) щелочную – горячей водой или паром; в) аппараты с горючим газом или воспламеняющимися жидкостями – горячей водой, паром или инертным газом.

Окончательная очистка аппарата производится: а) химическим; б) термическим; в) механическим способами.

Легированные стали чистят химическим путем чаще всего. При этом используют пасту, состоящую из соляной кислоты – 30 %, глины – 60 %, воды – 9,9 % и ингибитора – 0,1 %. Паста наносится на поверхность слоем в 8...10 мм и снимается через 8...20 часов в зависимости от слоя окислов. Затем поверхность промывают 10...15 %-ным раствором Na_2CO_3 или 2...3 %-ным раствором NaOH . В качестве примера рассмотрим химический способ очистки трубчатки (рис. 2.9). Для этой очистки применяют 8...10 %-ный раствор HCl с ингибитором при температуре 60 °С. Раствор циркулирует по прямому и обратному ходу.

Термическая очистка поверхности основана на использовании различия коэффициентов линейного теплового расширения металла и загрязняющей его накипи. При изменении температуры поверхности загрязнения отслаиваются и уносятся струей воздуха или воды. На практике эту очистку осуществляют прогревом поверхности специальными кислородными горелками или резкими изменениями температуры теплоносителя.

Механический способ очистки широко распространен, так как исключает коррозию металла и обеспечивает наиболее полное удаление всех загрязнений, в том числе химически нерастворимых кокса, пеков, силикатных отложений и т.п. Недостатки этого способа – малая производительность и трудоемкость. Для увеличения производительности и уменьшения доли ручного труда для механической очистки применяют гидромонитор (рис. 2.10).

Ручная очистка поверхности производится щетками, копытами, ершами. Для механизации этого процесса используют гидропистолет для проталкивания ершей, а также специальные устройства, работающие на принципе вращательного бурения.

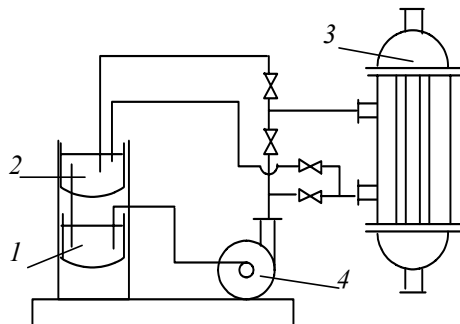


Рис. 2.9. Схема химического способа очистки теплообменника:
1 – бак; 2 – отстойник; 3 – теплообменник; 4 – насос

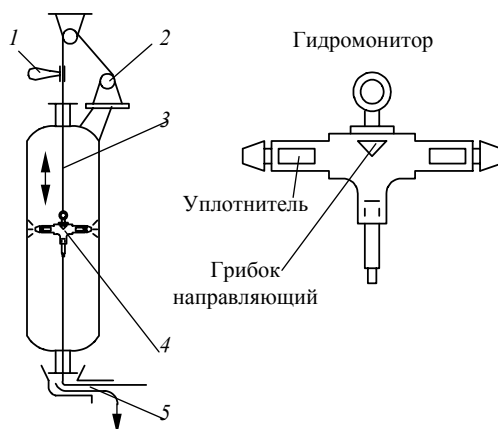


Рис. 2.10. Схема гидромонитора для механической очистки оборудования:
1 – ключ для поворота гидромонитора; 2 – лебедка; 3 – цепь; 4 – гидромонитор; 5 – шланг

2.4.2. Ремонт реакционной аппаратуры

В химической промышленности часто используют реакторы, которые состоят из корпуса, теплообменного устройства и перемешивающего устройства. Дефекты такой аппаратуры обнаруживаются методами, описанными в первом разделе настоящего пособия.

Ремонт таких аппаратов сводится к ремонту корпуса (трещины, вмятины, сварные швы), а также к ремонту футеровки, змеевиков, рубашек, мешалок.

Ремонт корпуса аппарата. Описанные выше методы дефектоскопии часто применяют для корпусов аппаратов. При этом различают 3 типа обнаруженных трещин:

1. Несквозные, неглубокие (глубина не более 1/4 толщины сечения).
2. Сквозные узкие трещины.

3. Сквозные широкие трещины с расхождением кромок более чем на 15 мм. Все трещины, поры и свищи устраняют сваркой или пайкой в зависимости от металла.

Трещины 1 типа подготавливают под заварку односторонней вырубкой на максимальную глубину со снятием кромок под углом 50...90°. Длинные трещины заваривают для снижения термичного эффекта участками.

Трещины 2 типа разделяют с одной или с двух сторон на всю толщину вырубкой зубилом либо прорезкой газом. Соответственно сварные швы имеют вид, представленный на рис. 2.6.

Если необходимо сваривать двухслойную деталь, то делают разделку кромок и заварку основного слоя, а затем плакирующего. Если нельзя делать сварку со стороны плакирующего слоя, то ее делают с наружной стороны [22].

Для устранения трещин 3 типа участок поверхности с трещиной вырезают газом, затем вваривают заплату. Длина вырезаемого участка на 50...100 мм больше длины трещины. Заплата заваривается «заподлицо» с основным участком и должна иметь ту же форму, что и ремонтируемая поверхность. Площадь одной заплаты не должна превышать 1/3 поверхности листа аппарата в месте ремонта.

При сварке металлических изделий большой толщины применяют следующие способы: наложение швов «каскадом» или «горкой» [21]. При этом завариваемое сечение заполняется металлом полностью и опасность появления трещин уменьшается. Применение двухсторонней разделки кромок используется для вертикального шва и сварка «горкой» выполняется с двух сторон. Для усиления мест сварки используются накладки толщиной свариваемых узлов [21]. При сварке двухслойных стенок аппаратов также сначала делается разделка кромок и сварка основного слоя аппарата, а затем плакирующего [21].

Вмятины на поверхности аппарата появляются под воздействием внешнего давления, выпучины – внутреннего. Прежде всего, эти дефекты проверяют на отсутствие трещин, а затем правят в горячем состоянии с местным прогревом до 850...900 °С. Правка прекращается при температуре 60 °С во избежание синеломкости. Правка производится с помощью оправок, домкрата, струбцин и болтов.

Ремонт антикоррозионных покрытий аппарата. Для защиты внутренней поверхности аппарата от коррозионного воздействия среды применяют покрытия (футеровку) из свинца, титана, меди, кислотостойкой стали и неметаллических материалов [21, 22]. Дефект футеровки проявляется в нарушении ее сплошности (трещин, пор и т.п.). Ремонт футеровки заключается в удалении дефектного участка (выявленного при диагностике аппарата) и установке новой футеровки. Для металлической футеровки характерным является коррозионное повреждение сварного шва. Поэтому для успешного ремонта при изготовлении аппарата часто предусматривают подкладные полосы под швы. В этом случае ремонт футеровки заключается в подварке шва. Если конструкцией аппарата не предусмотрена подкладка под шов, то заварка дефекта при неквалифицированной работе может привести к проварке футеровки.

Если футеровка выполнена из неорганических материалов в виде плиток, кирпичей и т.п., то при ремонте дефектные места вскрывают с помощью зубила и молотка. Вскрытые места зачищают от старой клеевой замазки, промывают водой и содовым раствором и вновь заделывают. Затем футеровку сушат при постепенном повышении температуры со скоростью 3...5 °С в час [21].

Если в качестве футеровки используют химически стойкую резину, то при ремонте дефектный слой удаляют, поверхность в этом месте очищают от клея и загрязнений и промывают бензином. Затем производят приклеивание на дефектный участок листов сырой резины и вулканизация. При ремонте можно использовать также приклеивание заплат из вулканизированной резины.

Если в качестве футеровки применяют винипласт, то дефектный участок удаляется и вваривается заплата необходимой формы с помощью горячего воздуха. Следует помнить, что винипласт дает усадку при охлаждении после сварки, поэтому перед изготовлением заплаты лист винипласта выдерживается при температуре 130...140 °С. Качество сварки проверяют наливом воды. Аналогично ремонтируют футеровку из других полимерных материалов [22].

Ремонт лакокрасочных покрытий заключается в очистке дефектного участка от ржавчины и отставшей краски металлическими щетками или шпателем, обезжиривании поверхности щелочным раствором или органическим растворителем и окраске в 2...3 слоя.

Если ремонту подвергается эмалированный изнутри аппарат, следует помнить, что эмаль, как и стекло, при неосторожном обращении с ней легко ломается. Поэтому при ремонте и монтаже таких аппаратов следует избегать ударов по корпусу, не устанавливать их друг на друга, не кантовать и т.п. Для уплотнения эмалированных поверхностей следует применять мягкие материалы: асбест, резину, фторопласт [23]. Затяжку болтов фланцевых соединений необходимо делать постепенно и равномерно по всему периметру. Дефекты на эмалированной поверхности в виде выбоин устраняют установкой танталовых или золотых пломб [21]. Если позволяют условия эксплуатации аппарата, то ремонт эмалированной поверхности производят диабазовой замазкой на эпоксидной смоле или бакелитовом лаке [23].

Ремонт теплообменных устройств. В качестве теплообменных устройств в таких аппаратах применяют рубашки и змеевики. Ремонт рубашек производится аналогично ремонту корпуса аппарата, который описан выше.

Змеевики, если они находятся внутри аппарата, подвержены коррозионному, тепловому и абразивному воздействию продукта и теплоносителя, а также вибрации и гидравлическим ударам. Наиболее часто бывают прогары и разрывы труб. Они ремонтируются следующим образом.

Текущий ремонт: дефектные участки вырезаются и на их место ввариваются новые элементы. Капитальный ремонт: змеевики, как правило, заменяются полностью.

Качество и долговечность змеевиков зависят от совершенства операций гибки и сварки змеевиков, так как при этом могут быть утончение стенок, овализация и складкообразование.

Ремонт перемешивающих устройств. Перемешивание в реакционных аппаратах осуществляется тремя методами: пневматическим, гидравлическим и механическим [23].

Пневматическое перемешивание реализуется с помощью барботеров, через отверстия которых подается воздух или пар. Барботеры изнашиваются из-за коррозионного или эрозионного воздействия перемешиваемой среды и перемешивающего агента. Если изнашивается труба барботера, то ее меняют, а для восстановления проектного размера отверстий – старые заваривают, а рядом сверлят новые.

Гидравлическое перемешивание осуществляется с помощью инжекторных смесителей и насосов. Диффузор и сопло в таком смесителе изнашиваются за счет коррозионного и эрозионного воздействия среды. Поэтому при замене таких элементов используют износостойкие материалы. Особое внимание при сборке подобных смесителей обращают на совпадение осей сопла и диффузора.

Механическое перемешивание осуществляют мешалками различного типа: лопастными, якорными, рамными, пропеллерными, турбинными и др. Часто мешалки работают в коррозионной среде, поэтому их делают съемными и крепят к валу с помощью безболтовых соединений. Износ мешалок допускается в больших пределах, поэтому замена их производится лишь при капитальном ремонте. Исключение – якорные мешалки, у которых зазор между якорем и корпусом должен быть в пределах 5...20 мм, поэтому при ремонте необходимо делать наплавку якоря.

Ремонт и замена подшипников. Сборку и подгонку разъемных подшипников скольжения начинают с проверки сопряжения и промывки корпусов и вкладышей. Наиболее ответственной частью монтажа подшипника является обеспечение прилегания рабочих поверхностей вала и вкладыша, а также проверка и регулировка зазоров.

Подгонку выполняют шабрением по пятнам касания краски, полученным после затяжки подшипника болтами и проворачивания вала.

Регулировку радиальных зазоров обычно производят с помощью регулировочных прокладок, пакеты которых одинаковой толщины устанавливают с обеих сторон разъема вкладышей.

Заключительной операцией является установка вала и закрытие подшипников. Выполняют ее после тщательной промывки и удаления металла, оставшегося после шабрения.

При опробовании машин проверяют нагрев подшипников, который допускается до температуры 60...65 °С, что соответствует нагреву корпуса 50...55 °С.

Подшипники качения перед установкой промывают в два приема. Предварительно – керосином или горячей водой, а окончательно – индустриальным маслом 12, 20 или 30, нагретым до 100 °С, или чистым бензином в смеси с 6 – 8 % масла (по объему). Во избежание коррозии подшипников их не следует промывать керосином.

Посадки для шарико- и роликоподшипников, а также отклонение от правильной геометрической формы посадочных поверхностей для вала и отверстия регламентированы ГОСТ 5327–75. Существует большое количество способов насадки и снятия подшипников с использованием различных приспособлений, съемников, прессов, монтажных труб, выколоток, ключей для гаек, молотков [18].

Ремонт аппаратов высокого давления. В аппаратах высокого давления также в процессе их эксплуатации появляются дефекты в виде трещин, местные уменьшения толщины стенки в результате коррозии, отслоение лакирующего слоя. Для восстановления корпуса рекомендуется [21, 22] следующая технология ремонта.

1. Подлежащие сварке места обрабатываются шлифовальным камнем с приданием этим местам формы с плавными переходами.

2. Дефектные места после обработки подвергаются повторному ультразвуковому и магнитному контролю. Проводятся при необходимости и металлографические исследования материала корпуса.

3. Дефект устраняется наплавкой при горизонтальном положении ремонтируемого участка с подогревом до 300...500 °С. Сквозные дефекты заправляются с применением подкладок. Наплавка осуществляется на постоянном токе и с применением электродов, соответствующих материалу корпуса.

4. После наплавки производится немедленная термообработка в режиме высокого отпуска: нагрев до 650...680 °С и выдержка при этой температуре из расчета 7 минут на 1 мм наплавки. Такая термообработка производится в газовой печи.

5. Устранение дефектов, требующих двухсторонней разделки, производится в последовательности, показанной на рис. 2.11.

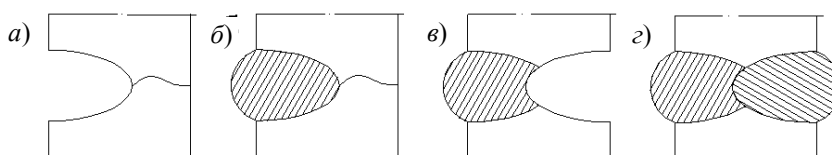


Рис. 2.11. Схема двухсторонней заварки дефекта

Последовательность ремонта такого участка следующая:

- разделка дефекта с одной стороны (а) и последующая заварка (б);
- разделка участка с другой стороны с обязательным удалением корня первого шва (в) и заварка разделки (г).

Часто при разборке аппаратов высокого давления из-за пригара шпилек для их вывертывания требуются большие усилия, что приводит к повреждению резьбы в гнездах. Поэтому после удаления старых шпилек нарезают резьбу большего диаметра [21].

2.4.3. Ремонт теплообменников

Теплообменники подлежат ремонту при следующих основных неисправностях: загрязнение поверхности теплообмена и нарушение герметичности. Ремонт теплообменных аппаратов заключается в очистке поверхности нагрева от накипи и других загрязнений, ремонте поверхности нагрева, нарушении герметичности в местах развальцовки труб в трубных решетках или разрыв труб и т.д. Необходимость в ремонте устанавливают при обследовании внутренних поверхностей труб, доступных для ремонта и механической чистки. Визуальному осмотру подлежат только крышки, концы и внутренние каналы труб, штуцера на корпусе и крышках. Дефекты остальных частей аппарата могут быть обнаружены только при испытании на прочность и плотность (опрессовке).

Существует несколько методов очистки поверхностей теплообмена: механический, химический, термический и гидравлический.

Механический метод сводится к очистке накипи путем соскабливания или отбивания ее специальным инструментом и разными приспособлениями. Инструмент для механической очистки трубок в теплообменниках делится на две группы [22]: приспособления, не повреждающие внутренней поверхности очищаемых трубок (рис. 2.12, а, б, в, г) и инструмент, способный наносить повреждения (рис. 2.12, д, е, ж, з, и, к).

Очистку труб производят с помощью шарошек, которые приводят в действия от электродвигателя, гидропривода и пневмопривода через гибкий вал или шланг. Каждую трубу в кожухотрубном теплообменнике проходят шарошками сверху вниз и обратно. Во время очистки в трубу подают воду для смывания накипи и охлаждения шарошек головки. Для очистки теплообменников целесообразно применять приводы с возвратно-поступательными движениями, используя тельферы или электролебедки.

В этом случае можно чистить одновременно несколько трубок.

Основной недостаток механического метода очистки труб – возможность повреждения поверхностного слоя металла, что приводит к более быстрому износу труб. Кроме того, этот метод трудоемкий и не обеспечивает полной очистки от накипи особенно в трудно доступных местах.

Химический способ применяется для очистки межтрубного пространства. Он описан в разделе 2.4.1. Схема этого метода представлена на рис. 2.13.

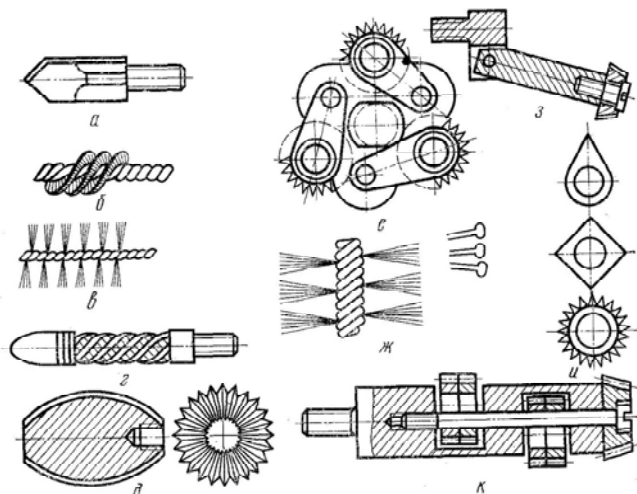


Рис. 2.12. Инструмент для механической чистки труб

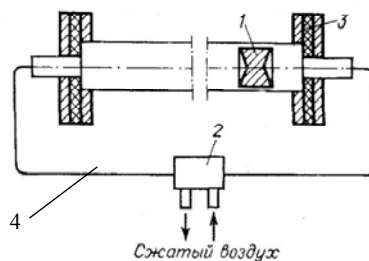


Рис. 2.13. Схема пневмомеханической очистки труб:

1 – втулка-шомпол; 2 – распределитель воздуха; 3 – прокладка; 4 – труба

Гидравлическая очистка основана на способности струи воды высокой скорости (свыше 50 м/с) удалять накипь. Струя воды выходит под большим давлением из сопла, режет и отрывает от стенок отложения очищаемых поверхностей. Время очистки одной трубы равно 10 – 15 с.

Достоинство такого метода – возможность очистки внутренних и наружных поверхностей трубок, а также корпуса непосредственно на месте установки аппарата. Широкий диапазон изменения давления (от 15 до 70 МПа) дает возможность удалять отложения практически любой твердости.

Термическая очистка основана (как отмечалось в разделе 2.4.1) на использовании разности коэффициентов теплового расширения накипи и металла. Поверхность нагрева, освобожденную от жидкости, сначала подогревают редуцированным перегретым паром, а затем охлаждают холодной очищенной химическим способом водой. В результате частицы накипи отслаиваются от поверхности и удаляются вручную или промывкой. Этот метод применяют в том случае, если установлено, что накипь, требующая удаления, при нагреве становится твердой и хрупкой.

В теплообменниках типа «труба в трубе» применяется пневмомеханический способ очистки. Чистка осуществляется зубчатой металлической втулкой-шомполом (рис. 2.13).

Втулка-шомпол 1 движется от одного конца трубы 4 к другому под напором воздуха давлением 0,5 – 0,6 МПа. Направление потока воздуха меняется с помощью распределителя воздуха 2. Резиновые прокладки 3 уплотняют места соединений и амортизируют удары шомпола. Для чистки U-образных трубок применяют гибкий шланг.

Ремонт теплообменника складывается из следующих операций: осмотр поверхности нагрева; изъятие требующих замены труб; подготовка новых труб и ремонт трубной решетки; установка и развальцовка новых труб; испытание.

Ремонт теплообменников типа «труба в трубе» состоит из следующих операций: осмотр поверхности нагрева; замена прокладок; частичный ремонт труб; испытание.

Ремонт пластинчатых теплообменников в основном сводится к замене дефектных пластин и резиновых прокладок.

При опрессовке аппарата проверяется состояние трубной решетки, плотность развальцовки труб в трубной решетке, фланцевых соединений, сварных швов. При ремонте трубного пучка допускается установка пробок на дефектные трубки (до 15 % в каждом пучке). При выходе из строя более 15 % трубок все они заменяются полностью. Для замены неисправных труб применяют специальные головки с резцом, приводом при этом служит вальцовочная турбина или электродрель [23].

При замене всего пучка труб (для извлечения его из кожуха) используют приспособление, состоящее из направляющей балки, полиспаств и лебедки [23].

Оставшиеся в гнездах трубных решеток концы труб зубилом или бородком сплющивают или выбивают. Сменяемую трубу с помощью выточенной по ее наружному диаметру оправки извлекают через одну из решеток и вместо нее вставляют новую, концы которой развальцовывают в трубных решетках или приваривают к ним. Труднее менять трубу с приваренны-

ми концами. Для этого вручную срезают шов и обрабатывают гнездо в решетке. Следует помнить, что для использования сварных труб необходимо выполнить два условия: число стыков должно быть не более одного на каждые два погонных метра трубы; расстояние шва до внутреннего торца решетки должно быть более 50 мм.

Чаще всего крепление труб в трубной доске осуществляется развальцовкой. Развальцовка – процесс пластической деформации стенок трубы, приводящий к увеличению диаметра трубы и отверстия в трубной решетке. Так как зазор между отверстием (очком) и трубой равен $0,02...0,08$ от наружного диаметра трубы, то относительная деформация металла лежит в границах площадки текучести, поэтому развальцовку можно проводить без нагрева, но не при минусовых температурах. Перед развальцовкой концы труб отжигают при температуре $700...800$ °С, зачищают до блеска и зашлифовывают с торца для снятия заусенцев.

Принцип действия самой вальцовки основан на раскатке конца трубы веретеном конической формы с роликами. Веретено продвигается постепенно вглубь трубы, раздвигая ролики, которые при этом расширяют трубу. Одновременно с продольной подачей веретена ему сообщается вращательное движение. Развальцовка каждой трубы должна заканчиваться при достижении так называемой степени развальцовки Δ .

$$\Delta = \frac{d' - d - 1,25S}{D} 100\% = 1...2\%,$$

где d' – внутренний диаметр трубы после развальцовки; d – внутренний диаметр трубы до развальцовки; S – исходный зазор, равный 2 % наружного диаметра трубы, т.е. $S = 0,02d_{нар}$; D – диаметр отверстия. Недовальцовкой трубы считается, если $\Delta < 1\%$, перевальцовкой – $\Delta > 2\%$. После развальцовки выступающие края труб срезают до размера 10 мм.

Ремонту подвергаются и трубные доски. Повреждения трубной доски – это чаще всего трещины от термических напряжений или от остаточных напряжений технологического происхождения. Одним из методов обнаружения трещин при этом используют магнитопорошковый с помощью проводника (см. раздел 1.4.1). Проводник располагают в отверстиях в трубной доске. Обычно трещины бывают между смежными очками. Заварка их производится так же, как и корпусов реакционных аппаратов, однако учитывают следующее: расстояние от завариваемой трещины до центра ближайшего отверстия должно удовлетворять значению:

$$l > 0,75t - 0,5D,$$

где t – шаг отверстий; D – диаметр отверстий.

Если трещина доходит до края очка или $l < 0,75t - 0,5D$, применяется сварка усиливающей втулки в предварительно расточенное очко. Высота этой втулки равна 3σ , где σ – толщина трубной решетки.

2.4.4. Ремонт ректификационных колонн

В процессе работы колонны ее элементы и узлы загрязняются, корродируют, теряют герметичность. Ремонт и содержание ее зависят от диаметра колонны и износа ее узлов. Если диаметр колонны больше 0,8 м, то ее делают из отдельных царг, соединяемых фланцами [22]. Колонна менее 0,8 м делается, как правило, цельносварной. Колонна снабжается люками, которые при ремонте открываются, начиная с верхнего.

Ремонт тарельчатых колонн заключается в проведении следующих мероприятий:

- а) пропарка, продувка и чистка;
- б) отсоединение коммуникаций;
- в) демонтаж царг вместе с тарелками;
- г) дефектация царг, тарелок и колпачков;
- д) ремонт тарелок;
- е) сборка тарелок и царг;
- ж) монтаж колонны;
- з) испытание колонны.

Применительно к насадочным колоннам операции г), д), е), где речь идет о тарелках, заменяются разгрузкой насадки ее промывкой, пополнением и загрузкой насадки в колонну.

Выгрузка отработанных из колонны колец производится по лоткам. Для загрузки новой насадки используются кран-укосина, бадья и лебедка [22]. Во избежание разрушения насадки ее загружают в колонну, предварительно заполненную водой.

Ремонт полотна тарелки и корпуса колонны заключается в заварке обнаруженных при диагностике трещин или замене части корпуса. Тарелки в корпусе устанавливаются строго горизонтально, особенно это относится к ситчатым и провальным тарелкам, с целью обеспечения равномерной работы тарелки.

При ремонте колпачковых тарелок основными требованиями являются проверка и подгонка установочных размеров. Необходимо, чтобы верхние торцы паровых патрубков находились в одной плоскости, а колпачки – на одном расстоянии от плоскости тарелки. Тарелки с круглыми колпачками испытывают на барботаже следующим методом. На один из колпачков ставят отрезок трубы (оправка) диаметром на 45 – 50 мм больше диаметра колпачка и высотой чуть больше высоты колпачка. Вторую такую же оправку ставят последовательно на каждый колпачок. Равномерность и интенсивность барботажа проверяют визуально по окружности колпачка. Барботаже должен быть по интенсивности одинаковым. Первый установленный по проекту и испытанный колпачок принимают за эталон и по нему регулируют все остальные.

Выявленные при диагностике дефектные участки корпуса колонны ремонтируются следующим образом. Неплотные сварные швы вырубают, зачищают и вновь заваривают. Дефектные штуцеры и люки заменяют новыми с установкой укрепляющих колец. Изношенные участки корпуса вырезают поясами и ставят предварительно подготовленные новые. Чтобы операция вырезания дефектного участка не привело к ослаблению корпуса, его укрепляют стойками (рис. 2.14).

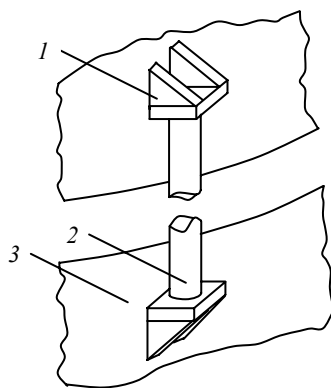


Рис. 2.14. Схема усиления колонны в местах вырезаемых поясов:
1 – лапа; 2 – стойка; 3 – корпус колонны

Собранные и проверенные царги собирают на месте установки колонны, часто монтаж царг осуществляется по принципу сверху вниз.

Метод монтажа сверху вниз полезен при установке колонн внутри здания и небольшого веса. Суть его в том, что вначале поднимают на высоту одной царги верхнюю царгу, подводят под нее следующую, соединяют их и поднимают вместе на ту же высоту и т.д. Вертикальность колонны проверяют по отвесу. Замерив фактические диаметры D фланцев царг, промеряют линейками расстояния от фланцев до отвеса b .

Колонна установлена вертикально, если:

$$\frac{D_1}{2} + b_1 = \frac{D_2}{2} + b_2 + \dots + \frac{D_i}{2} + b_i .$$

После установки колонну испытывают в целом методом, описанным в разделе 1.6. Следует отметить, если колонна работает под вакуумом, то ее испытывают гидравлически на пробное давление 0,2 МПа или пневматически на давление 0,11 МПа [23].

2.4.5. Ремонт емкостного оборудования

Как правило, такое оборудование имеет большой объем и предназначается для приема и хранения химических продуктов. Перед ремонтом оборудование подвергается чистке, которая включает промывку водой, пропарку, дегазацию и удаление грязи. Промывку можно производить с помощью гидромонитора (рис. 2.14) или вручную с соблюдением мер предосторожности (спецкостюм, противогаз). Для чистки больших хранилищ иногда используют бульдозеры [23], для чего в нижних поясах корпуса емкости вырезают временный лаз. Дефектами хранилищ бывают неплотности сварных швов, вмятины и выпучины, трещины и коррозионный износ стенок.

Дефектные швы обнаруживают методом капиллярной дефектоскопии и чаще всего так называемой пробой керосином. При этом пенетрантом служит керосин, а проявителем – меловая краска. Дефектные участки швов вырезают и переплавляют. Вмятины и выпучины вырезают и на их место приваривают заплатки.

Обнаруженные трещины подготавливают под заварку методами, описанными выше. Широкие трещины и прокорродированные участки ремонтируют путем вырезки и приварки заплат. Технология приварки заплат зависит от толщины стенки емкости. Если толщина менее 6 мм, то заплатка приваривается внахлест. Величина нахлеста должна быть равна 30 – 40 мм, а зазор между листами не превышать 1,5 мм [22]. Если толщина стенки больше 6 мм, то заплатки приваривают встык с двух сторон, с зазором 2 – 4 мм и скосом кромок под углом 30...350° [22]. Размер заплатки должен быть не менее 200 × 150 мм и не более 1/3 площади ремонтируемого листа [22]. В противном случае лист меняется целиком. Вырезаемый дефектный участок должен отстоять от конца трещины не менее чем на 50 мм. Заплата по технологии предварительно вальцуется с кривизной, несколько большей кривизны стенки в ремонтируемом месте емкости. Заплата приваривается обратноступенчатым швом в два слоя.

При коррозионном износе участка кровли емкости она подвергается локальному ремонту, если кровля обладает еще достаточной прочностью. Если на кровле появилась сплошная недопустимая коррозия, то меняется все покрытие и поддерживающий ее каркас.

При ремонте верхних поясов емкостей выполняется полистовая замена дефектных участков или меняется весь пояс. В случае полистовой замены в кровле вырезают проемы шириной 1 м и длиной, равной или несколько большей длины ремонтируемого участка. Для производства работ внутри емкости и снаружи при необходимости возводят монтажные площадки.

При необходимости меняется и изношенное днище предварительно очищенного резервуара. Для этого в нижнем поясе вырезают окно, резервуар поднимают от основания с помощью домкратов [21]. Основание под днищем при необходимости нивелируется. Через окно подают заготовки для днища, сваривают их, затем опускают на готовое днище корпус емкости и также сваривают.

2.4.6. Ремонт оборудования с вращающимися частями

В химической промышленности широко применяются машины и аппараты с вращающимися частями (барабанные сушилки, печи обжига, грануляторы, измельчители, центрифуги и т.д.).

Барабанные аппараты. Перед ремонтом посредством визуально-измерительного контроля определяют места прогаров барабана, выпучин, вмятин, дефекты сварных швов, искривления корпуса и т.д. Чаще всего ремонту подлежат корпус, бандажи, опоры, шестеренчатые пары и т.д.

Дефектные участки корпуса длиной от 1 до 30 м могут заменяться при ремонте. Эта замена производится с использованием предварительно подготовленных эстакад и рельсовых путей. При замене дефектных участков корпуса особое внимание уделяют соблюдению соосности при стыковке новой части корпуса и старой. Соосность проверяется с помощью струны и оптических приборов [21].

Бандажи на барабанах меняют в том случае, если износ их поверхностей качения превышает 50 % при коробчатом и 20 % при сплошном сечении [21].

Причиной замены бандажа служат также конусность до 50 мм и прогрессирующий раскат. Зубчатая пара ремонтируется наплавкой, если износ зубьев не превышает 30 %. Незначительные дефекты опорных роликов устраняют путем проточки с последующим шлифованием, а при значительном износе наплавкой с последующей обработкой.

Вальцевые дробилки. Перед ремонтом выполняют общую разборку дробилки, которая состоит в снятии привода, распределительного и рабочих валов, узла специального ролика, механизма подачи, шестерен, слива масла из редуктора, разборки его на детали и промывки их. При необходимости заменяют валы редуктора и шпонки, шарикоподшипники, сальниковые уплотнения. Затем собирают редуктор и проверяют валы на легкость и плавность вращения. Далее перебирают муфту сцепления с заменой и промывкой корпуса дробилки, калибруют резьбовые отверстия. После этого перебирают узлы распределительного и рабочего валов, заменяют изношенные детали и крепеж, выставляют валы, производят шабровку вкладышей коренных подшипников и подгоняют по валу зубчатое колесо.

В процессе эксплуатации вальцовых дробилок наблюдаются характерные дефекты: неисправность и поломка крышек, ручек, шарниров, перекос, износ поверхности вальцов и образование на них задиров; износ подшипников; износ зубьев зубчатых колес; поломка пружин при вибрации машины или вальцов, что приводит к неравномерной подаче продукта в машину.

После разборки дробилки вальцы направляют для ремонта в мастерские, а остальные детали и узлы ремонтируют на месте. Наибольшему износу подвержены вальцы. Ремонт их заключается в новом рифлении на специальных вальцонарезных станках. После ремонта вальцы контролируют с помощью металлической линейки на цилиндричность. Тщательной проверки требуют все пружины, так как со временем они стареют и теряют эластичность. Проверяют высоту пружины, а также упругость по выдерживаемой нагрузке.

После ремонта дробилку испытывают сначала на холостом ходу, а затем под нагрузкой. Проверяют параллельность вальцов, зазоры между вальцами, нагрев подшипников, наличие вибрации, работу пружин и всех регулировочных винтов.

Ремонт центрифуг. При ремонте центрифуги вначале снимают электродвигатель, а затем приступают к ее разборке. Через пробку в нижней части коробки спускают масло, снимают указатель движения масла и заливочную воронку. Только после этого снимают крышку, борта кожуха и сита, разбирают головку центрифуги, вынимают веретено, барабан (корзину), разбирают подъемный механизм, выгрузочный конус, очищают и моют все детали от грязи и масла.

Ремонт начинают с обследования ротора с помощью лупы. Наилучшим способом проверки состояния ротора является дефектоскопия с помощью ультразвука или рентгена.

Подварка ротора запрещается, поэтому при обнаружении в нем язвин, трещин или образовании конусообразных лунок в отверстиях большой глубины ротор заменяют новым.

Тщательно проверяют состояние ступицы розетки. При износе распределительной тарелки разгружающего конуса, верхней муфты или трубки их заменяют новыми. Нижняя обечайка конуса пришлифовывается к конической поверхности розетки по диаметру.

Металл самого конуса не должен быть изношенным более, чем на 20 % первоначальной толщины.

Вал центрифуги ежегодно проверяют, шлифуют и притирают конус по ступице розетки. Затем осматривают детали рычажного приспособления для подъема выгрузательного конуса и при необходимости уплотняют шарниры и заменяют изношенные детали. При наличии изъянов в шаровой поверхности корпуса подшипников их устраняют притиркой. Амортизирующий резиновый буфер, а также изношенный тормозной шкиф центрифуги заменяют новыми. С тормоза снимают ленту ферадо, изношенные сита и заменяют новыми и одновременно проверяют правильность крепления сит.

Нормальная и безопасная работа центрифуги во многом зависит от тщательности балансировки деталей. Ротор балансируют сначала самостоятельно, а затем с поставленными ситами.

При сборке центрифуги после ремонта головку центрифуги проверяют следующим способом. Вручную раскручивают центрифугу, и, если центрифуга раскручивается и останавливается плавно без толчков – головка собрана правильно. Состояние буфера и сборка проверяются покачиванием ротора центрифуги из стороны в сторону. Такое покачивание должно встретить упругое противодействие буфера. В противном случае головку нужно разобрать и сменить буфер. Если центрифуга при пробных пусках «бьет», а детали ее были отбалансированы, нужно проверить правильность затяжки резинового амортизатора.

Отремонтированную и собранную центрифугу после заливки маслом обязательно проверяют «на ходу» до начала производства на биение вала. При этом качество ремонта оценивается по величине биения и зависит от частоты вращения ротора. Например, при частоте вращения 1500 об/мин ремонт считается выполненным качественно, если биение составляет 0,03 мм. На каждую центрифугу должен быть паспорт с балансировочным журналом, куда ежегодно заносятся результаты балансировки и данные пересчета и произведенной замены.

Обкатка машин и механизмов. Обкатка машин, механизмов и аппаратов с мешалками проводят в соответствии с указанием проекта, технических условий или указаний соответствующих глав СНиП. Продолжительность испытания механизмов должна соответствовать данным, представленным ниже в таблице.

Индивидуальные испытания машин и механизмов вхолостую проводят по специальному графику с участием представителя заказчика и специализированных ремонтных и монтажных организаций. Результаты испытания оборудования оформляются специальными актами.

Продолжительность испытания приводных механизмов

Тип аппарата	Количество оборотов, мин	Продолжительность испытаний в холостую, ч	Продолжительность испытаний под нагрузкой, ч
Аппараты с неподвижными корпусами и внутренними вращающимися частями	До 100	2	4
Аппараты с неподвижными корпусами и внутренними вращающимися частями	Более 100	4	8
Аппараты с вращающимися корпусами	До 300	4	8

Перед пробным пуском машины необходимо:

1. Проверить правильность взаимного положения и крепления деталей и узлов, составляющих машины, а для автоматов – также действие рабочих органов в соответствии с циклограммой.

2. Тщательно очистить и заполнить соответствующей смазкой смазочные устройства и коробки для масла.

3. Прокручивать перед пуском легкие и средние машины вручную или специальным валоповоротным механизмом с отсоединенным электродвигателем на один рабочий цикл, чтобы убедиться в отсутствии местных заеданий, касаний движущихся деталей машины между собой и с окружающими предметами; проверить величину местных ходов и узлов, соответствующих возвратно-поступательному движению; для этого покачивают детали в ручную, а в точных механизмах мертвые ходы замеряют специальными инструментами.

4. Установить и проверить все ограждения, натяжения и предохранительные устройства, нагревательные приборы, реле, автоматические выключатели и т.п.

5. Производить первый пуск машины вхолостую с освобождением ее от всякой нагрузки, предупредив ремонтный и монтажный персонал о пуске машины.

6. Производить первоначальный пуск машины короткими включениями и, если во время их обнаружатся существенные недостатки ремонта или монтажа, немедленно ее остановить; пуск машин, имеющих привод с регулированием частоты вращения, следует начинать с наименьшей частоты.

7. Для обкатки машин и механизмов необходимо проверить направление вращения электродвигателя, отсоединенного от механизма, и работу электродвигателя проводить в течение 40 – 60 мин вхолостую.

При работе машины или механизма вхолостую выявляют: общий характер работы (спокойный, без толчков, ударов и вибраций); нагрев подшипников, направляющих и других трущихся частей; биение валов, шкивов, зубчатых колес; правильность посадки на валу муфт, шкивов, зубчатых колес, подшипников качения; соответствие направления вращения и числа оборотов по паспортным данным.

После окончания обкатки машину останавливают, вскрывают подшипники и другие трущиеся узлы, а также места с минимальными зазорами между движущимися и неподвижными деталями и проверяют, нет ли следов трения, задиров. Выявленные дефекты устраняют, машину собирают и регулируют, после чего ее подвергают техническим испытаниям. Для этого машину включают в работу с полной проектной нагрузкой, по достижении которой проверяют основные показатели работы машины: производительность, качество продукции и т.д.

Приемку оборудования из ремонта осуществляют в два этапа – предварительно и окончательно. Предварительно машину (агрегат) после ремонта принимает комиссия в составе представителя ОГМ, механика цеха, представителя ремонтной бригады, выполняющей ремонт, наладчика, обслуживающего данную машину (агрегат) путем осмотра и опробования на холостом ходу. Окончательно машину (агрегат) принимает та же комиссия после испытания под нагрузкой в производственных условиях.

Приемка оборудования из ремонта оформляется актом приема-сдачи оборудования, который утверждает главный инженер предприятия.

2.4.7. Ремонт центробежных насосов

В процессе эксплуатации происходят не только изменения узлов и деталей насоса, но также его фундамента и станины. При составлении дефектной ведомости проводится замер осадки фундамента, наличия трещин в нем, зазоров между основанием фундамента и полом цеха. При наличии трещин и проникновении масла в массив фундамента он подвергается ремонту. При этом дефектная часть удаляется до прочного монолитного слоя и закладывается новый бетон.

Станина насоса может изменить свою форму в результате осадки фундамента. На ней могут появиться трещины из-за неравномерной затяжки станины. Также могут ослабнуть крепления станины к фундаменту и появиться зазоры между ее основанием и бетоном. Если имеются большие изменения формы станины, трещины в ней и периметр ее не прилегает к фундаменту на 50 % длины, то рама снимается с фундамента, отсоединяется от насоса, форма ее исправляется, трещины завариваются. Затем переходят к дефектации и ремонту самого насоса.

При работе насоса чаще всего выходят из строя и ремонтируются следующие его узлы: ротор, подшипники, уплотнения, полумуфты, корпус. Во время *техосмотра* проводят следующие мероприятия:

- а) проверяют осевой и радиальный разбеги ротора;
- б) очистка и промывка подшипников;
- в) ревизия сальникового уплотнения;
- г) проверка муфт.

При *текущем ремонте*:

- а) разборка насоса и проверка зазоров;
- б) ревизия и замена деталей уплотнения.

При *капитальном ремонте*:

- а) ревизия всех сборочных единиц и деталей;
- б) замена рабочих колес, валов, уплотнений.

Перед ремонтом насос отключают, промывают и делают следующие замеры:

- а) смещение ротора в радиальном направлении;
- б) осевой разбег ротора;
- в) несовпадение осей насоса и привода.

После таких замеров насос разбирают, детали промывают при 100 °С в 10-процентном растворе NaOH в течение 30 минут, промывают водой и сушат. Затем проводят дефектацию на специальном месте, оснастив необходимым приборам и инструментами. Результаты дефектации заносят в дефектную ведомость. Необходимо отметить, что существуют нормы на износ деталей, разработанные соответствующим НИИ или заводом-изготовителем. После дефектации детали сортируют на три группы:

- а) детали, годные к работе в сопряжении с новыми деталями;
- б) детали, подлежащие ремонту;
- в) детали, непригодные для дальнейшего использования.

Ремонтируют узлы и детали насоса, обычно, следующим образом.

Корпус насоса. Коррозионный и эрозионный износ устраняется наплавкой металла, электросваркой с последующей расточкой. Привалочные поверхности протачиваются или фрезеруются.

Уплотнения. Сальниковую набивку меняют, а при необходимости ремонтируют или заменяют детали уплотнения. Если применяют торцевое уплотнение, то чаще всего при ремонте меняют пары трения.

Подшипники. Осевое и радиальное смещение ротора чаще всего происходит из-за неисправности подшипников. В подшипниках не должно быть:

- а) трещин и выкрашивания металла на кольцах и телах качения;
- б) выбоин на беговых дорожках колец;
- в) шелушения металла.

При обнаружении этих и других дефектов подшипник меняют.

После ремонта насос собирают, выверяют при установке на рабочем месте и испытывают. Испытание сводится к следующему:

- а) кратковременный пуск для определения направления вращения;
- б) при необходимости прогрев насоса, если перекачивают горячие жидкости;
- в) испытание в рабочем режиме 2 часа.

Ротор. Вал ротора может искривляться, диаметр его уменьшается, изменяет форму.

При ремонте вал исправляют: изношенные части его подвергаются электролитическому восстановлению или наплавке с последующей расточкой под требуемый размер. Колесо ротора, как и корпус насоса, подвергается коррозионному и эрозионному износу и ремонтируется аналогично. Затем проводят балансировку ротора.

Балансировка роторов (как и других вращающихся узлов оборудования) может быть статической или динамической. В зависимости от окружной скорости и отношения ширины вращающейся детали к ее диаметру выбирают способ балансировки по данным следующей таблицы.

Данные для выбора способа балансировки

Окружная скорость детали, м/с	Отношение ширины к диаметру	Балансировка
1 – 6	Любое	Статическая
6 – 15	До 1:1	Статическая с контрольным грузом
Более 15	До 1:3	То же
Более 15	Свыше 1:3	Динамическая

2.4.8. Ремонт компрессоров

В процессе работы поршневых компрессоров систематически изнашивается ряд основных деталей. По сроку службы эти детали могут быть разбиты на следующие три основные группы:

- 1) быстроизнашивающиеся детали: клапанные пружины, поршневые кольца;
- 2) детали, изнашивающиеся в течение более продолжительного срока: шатунные болты, вкладыши шатунов и коренных подшипников;
- 3) детали с длительным сроком службы: коленчатые валы, шатуны, цилиндры и поршни.

Виды ремонта компрессоров. Текущий ремонт производится через 700...1500 часов непрерывной работы в зависимости от отношения давлений, свойств сжимаемого газа, его агрессивности, загрязненности и т.д. Для этой категории ремонта специфична замена деталей 1-й группы и небольшой объем обработки с регулировкой деталей 2-й группы.

Капитальный ремонт производится через 18 000...30 000 часов работы и заключается в полной разборке машины с заменой и восстановлением деталей всех трех групп с обеспечением номинальных зазоров. Простой на ремонт при этом составляет 8...15 суток, а трудовые затраты 300...600 чел.-часов.

Основные методы ремонта важнейших деталей компрессорных машин. Износ шеек и искажения формы коленчатых валов определяются микрометром в двух перпендикулярных положениях и трех сечениях по длине шеек вала. Абсолютная величина искажения формы, при которой вал должен быть подвергнут ремонту, составляет 0,06...0,07 мм при $D = 80...120$ мм. Уменьшение диаметра вала на 3 % от нормального значения требует ремонта.

Повреждения коренных подшипников. Это износ нагруженной поверхности вкладыша: трещины, отслаивание заливки и т.д. При ремонте вкладыши заливают баббитом марок Б10, Б16, Б83. Если глубина износа менее 1/2 толщины заливки, то зазор уменьшают, убирая подкладку в раземе вкладыша. При большой глубине износа производят перезаливку и расточку вкладышей.

У поршней износ больше всего происходит по торцевым поверхностям пазов для колец и по наружной цилиндрической поверхности. При износе пазов их растачивают и ставят более толстые кольца. Браковка поршня производится по величине зазора цилиндр–поршень. Номинальный зазор равен 0,001...0,002 диаметра цилиндра; брак – в случае, если величина зазора больше 2 номинальных зазоров.

Иногда поршни ремонтируют так: поверхность поршня растачивают, делают канавки между поршневыми кольцами, заливают баббитом и обтачивают на номинальный диаметр.

При износе цилиндра меняется его форма (эллиптичность, конусность и т.д.). Это обнаруживается измерением диаметра цилиндра в трех сечениях по длине цилиндра, во взаимно перпендикулярных направлениях в каждом сечении.

Ремонт поршня заключается в расточке его и запрессовке чугунной гильзы. Затем гильзу растачивают на номинальный размер.

Текущий ремонт клапанов (пластин и седел) заключается в их притирке и очистке от нагара. Иногда пластины шлифуют, но не более чем на 1/3 толщины. При обнаружении трещин или глубоких рисок пластины заменяют. Пластины малых размеров изготавливают из углеродистой или инструментальной стали. Крупные пластины – из легированных сталей. Обработка новых пластин заключается в шлифовке и закаливании.

Контрольные вопросы к разделу «Ремонт типового оборудования»

1. В чем заключается подготовка оборудования к ремонту?
2. Назовите преимущества и недостатки механического способа очистки оборудования по сравнению с другими.
3. Как осуществляется ремонт антикоррозионного покрытия аппаратов?
4. Как производится очистка кожухотрубчатых теплообменников?
5. Какими способами крепятся трубы в трубных решетках?
6. Как ремонтируется трубная доска теплообменника?
7. Какие бывают повреждения корпусов реакционных аппаратов и как их устраняют?
8. Каков порядок обкатки машин и механизмов после их ремонта?
9. От каких факторов зависит выбор способа балансировки ротора центробежного насоса?
10. Как ремонтируют коренные подшипники компрессорных машин?

2.5. ОСНОВЫ РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДОВ

Химические производства отличаются большой насыщенностью и разнообразием трубопроводных систем. Известно, что при определении общей площади технологического цеха необходимо предусматривать 40 – 50 % ее на трубопроводы [27].

Условно трубопроводы делят на магистральные (межцеховые, внутрицеховые) и трубопроводы локальной обвязки каждого технологического узла. К магистральным трубопроводам относят сети холодной и горячей воды, газопроводы, мазутопроводы, паропроводы, канализацию фекальную и производственную.

Ремонт отдельных видов трубопроводов должен проводиться с соблюдением требований Ростехнадзора. Например, при ремонте трубопроводов пара давлением более 0,2 МПа и воды при температуре более 115 °С [25] необходимо соблюдать требования «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды».

Трубопроводы, подлежащие регистрации в органах Ростехнадзора, должны иметь паспорта и журналы смен, в которых эксплуатационный персонал записывает сведения о дефектах и проведенных ремонтных работах. Кроме этого, трубопроводы горячей воды и пара подлежат техническому освидетельствованию инженером-инспектором в следующие сроки: наружный осмотр – не реже одного раза в 3 года; перед пуском после ремонта трубопроводы осматривают и испытывают на прочность и плотность гидравлически [25]. Если трубопроводы такого типа были в консервации более 2 лет, то их также осматривают и испытывают.

Если на предприятии имеются трубопроводы из неметаллических материалов, то для них разрабатываются инструкции по эксплуатации, ремонту и технике безопасности.

В процессе эксплуатации трубопроводов возможны следующие их неисправности:

- течь в основном теле трубопровода вследствие эрозии, разрыва шва, коррозии, внутреннего смятия и т.д.;
- пропуск во фланцевых соединениях;
- коррозия в резьбовых соединениях;
- неисправности запорной арматуры;
- уменьшение внутреннего сечения трубопровода (образование накипи, пленки продукта, отложение солей и т.п.)

Для устранения неисправностей трубопроводов, как и для технологического оборудования, проводят следующие работы: *техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт*. Перед ремонтом трубопроводы подвергают очистке и диагностированию.

2.5.1. Технология очистки труб

Очистке подвергаются как новые, так и трубы, бывшие в эксплуатации. Поступающие на предприятие новые трубы из углеродистой стали обычно имеют на поверхности консервирующую смазку или прокатную окалину. Окалина появляется также и при монтаже в процессе сварки, горячей или холодной гибки. Новые трубы из нержавеющей стали, поступающие на предприятие электрополированными или протравленными, загрязняются при монтаже и эксплуатации. Новые трубы из меди поступают на предприятие окисленными. В процессе гибки на них появляются механические загрязнения и плотная окалина.

Эксплуатация труб сопровождается их загрязнением и для восстановления работоспособности они должны при ремонте подвергаться чистке. Рассмотренные в разделе 2 настоящего пособия некоторые методы очистки оборудования (механические, термические, химические) применимы и для очистки трубопроводов.

Часто трубы чистят от загрязнений и средств консервации путем протаскивания через трубы пыжей, закрепленных на проволоке [26]. Но такой метод, например для очистки трубного пространства теплообменников с U-образными трубками, применять трудно или вообще невозможно. Для подобных случаев можно рекомендовать «прострел» труб тампонами с помощью сжатого воздуха. Тампоны предварительно смачивают специальными моющими растворами. Такой способ применяют часто при расконсервации, перед ультразвуковой дефектоскопией, после приварки труб к трубной доске, после гидравлических испытаний.

Для изготовления пыжей используют техническую бязь или марлю, из которых вырезают салфетки размером 50 × 50 мм. Сжатый воздух для прострела салфеток предварительно очищается от влаги и масла, затем подается к пневмоустройству через редуктор. При этом большое понижение давления нежелательно, так как происходит выпадение влаги из воздуха, что может в дальнейшем привести к коррозии внутренней поверхности трубы.

2.5.2. Техническое обслуживание трубопроводов

Техническое обслуживание (ТО) трубопроводов включает наружный осмотр для выявления неплотностей в сварных швах, фланцевых соединениях, определение состояния теплоизоляции и антикоррозионного покрытия. Кроме того, в ТО входит мелкий ремонт трубной арматуры в рабочем состоянии: смена маховиков, перенабивка сальников; проверка работы конденсатоотводчиков и маслоотделителей; проверка состояния канализационных выпусков, раструбных соединений, подвижных и неподвижных опор труб и колонн эстакад; проверка пожарных гидрантов и электрозащиты трубопроводов; устранение канализационных засоров; проверка работы измерительных приборов, нейтрализаторов и жируловителей.

2.5.3. Текущий ремонт трубопроводов

Текущий ремонт всех видов оборудования включает все мероприятия технического обслуживания и следующие работы: устранение выявленных при техническом обслуживании дефектов; замена дефектных участков трубопроводов (но не более 20 % его протяженности); замена дефектных фланцев и прокладок; ремонт или замена вышедшей из строя арматуры; смена сальниковой набивки; ремонт подвижных и неподвижных опор трубопроводов; ремонт теплоизоляции; восстановление антикоррозионного покрытия; гидравлические испытания на прочность и плотность.

Трудоемкой операцией при текущем ремонте является разборка фланцевых соединений. Перед разборкой (за 2...3 часа) резьбовые соединения смачивают керосином [21]. Затем с помощью винтовых (рис. 2.15) или гидравлических клиновых приспособлений раздвигают фланцы с целью смены прокладок.

Гидравлические приспособления применяют для раздвижки фланцев на трубопроводах высокого давления.

Используют и другие приспособления [21] для этих целей, но самым простым способом является следующий. В диаметрально противоположных отверстиях фланца нарезается резьба, затем туда вворачиваются болты. Болты при заворачивании, упираясь в предварительно установленные пластины между фланцами, раздвигают их.

При эксплуатации трубопроводов прокладки во фланцах теряют свои герметизирующие свойства и для вырезки новых прокладок используют различные приспособления, одно из которых показано на рис. 2.16.

В отверстиях конуса *1* крепятся ножи *2*, а сам конус вставляется в патрон сверлильного станка.

Текущий ремонт предполагает очистку привалочной поверхности фланца, находившегося в эксплуатации, от старой прокладки, следов коррозии или приварку нового фланца. Для контроля при сварке перпендикулярности привалочной поверхности фланца и трубы используется приспособление, схема которого показана на рис. 2.17.

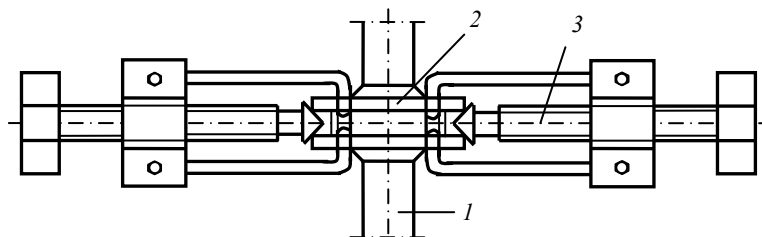


Рис. 2.15. Приспособление для раздвижки фланцев:
1 – труба; *2* – фланец; *3* – винтовое приспособление

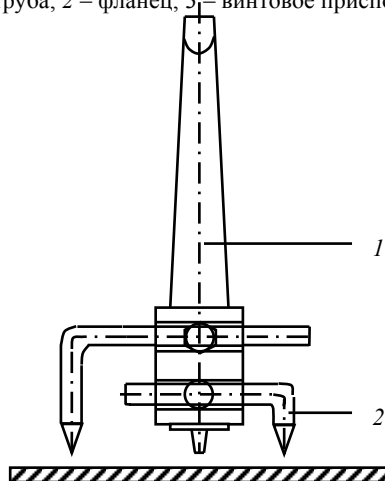


Рис. 2.16. Приспособление для вырезки прокладок:
1 – конус; *2* – нож

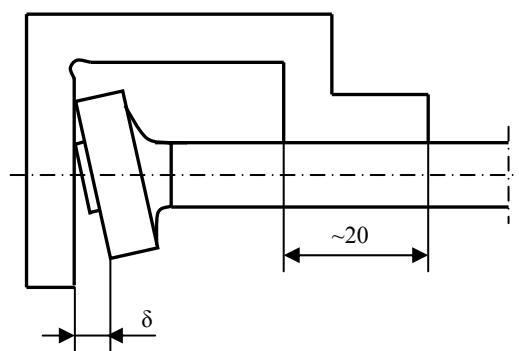


Рис. 2.17. Приспособление для контроля приварки фланца

При текущем ремонте дефектный участок трубопровода заменяется новым следующим способом. Прежде чем удалить дефектную часть, необходимо закрепить разделяемые участки трубопровода так, чтобы избежать их смещения. Дефектный участок перед удалением крепится в двух местах. Свободные концы разделенных участков после удаления дефектного временно закрывают пробками. Для варки нового участка трубы его предварительно укрепляют на опорах.

При ремонте подъем, перемещение деталей и узлов трубопроводов производятся с помощью грузоподъемных устройств и соответствующей строповки. Стропы снимаются после установки прокладок и соединения фланцев, а в случае сварных соединений – после наложения швов. Передача веса отдельных участков труб при ремонте на насосы и компрессоры должна быть исключена. Во время соединения узлов перестроповка запрещена.

Замена изношенных участков наземных магистралей может производиться потрубно. Также возможна сборка участков из секций, собранных и сваренных из отдельных труб вблизи эстакады или в трубозаготовительной мастерской. Замена дефектных участков трубопроводов на эстакадах затруднена из-за большого количества труб на них. Поэтому замена или прокладка новых трубопроводов проводится отдельными участками небольшой длины. Участки укладываются в направлении, противоположном уклону трубопровода.

Если трубопровод работает при высокой температуре и имеет компенсатор, то при замене дефектных участков компенсатор предварительно подвергается растяжке. В этом случае после ремонта компенсатор температурных удлинений при эксплуатации не будет испытывать напряжений. Операция растяжки проводится с помощью различных устройств, одно из которых [21] представлено на рис. 2.18.

В случае холодного натяга трубопроводов при замене дефектных участков также имеются для различного типа компенсаторов специальные приспособления.

Для замены дефектных участков трубопроводов, уложенных в грунт, последовательность операций такова:

- вскрытие трубопроводных траншей;
- отсоединение дефектных участков;
- подъем дефектных участков;
- замена дефектного участка на новый.

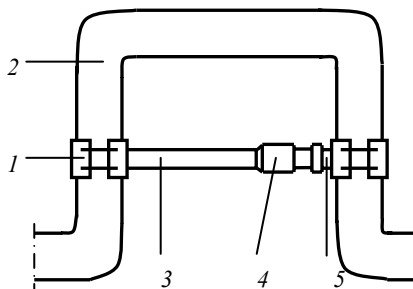


Рис. 2.18. Приспособление для растяжки компенсаторов:
1 – хомут; 2 – компенсатор; 3 – распорка; 4 – гайка; 5 – винт

Если на трубопроводе имеются мелкие повреждения (трещины, раковины, потения) и если в трубопроводе транспортируются не опасные вещества, то ремонт осуществляется наваркой заплат без отключения потока в трубе. Крупные трещины, разрывы ремонтируются временным наложением хомутов. Затем трубопровод освобождается от продукта, поврежденные места вырезают и варивают так называемые «катушки» [21].

Если трубопроводы уложены на глубину не более 1,2 м и имеют диаметр менее 300 мм, то ремонтируют их с подъемом и укладкой на лежаки над траншеей. Во избежание повреждения трубопровода при подъеме и опускании в траншею наиболее напряженные сварные стыки усиливают муфтами или планками. Чтобы планки плотно прилегали к трубе, их делают с изгибами. Длина муфт составляет 300 мм при диаметре труб 200 – 400 мм и 350 мм для труб диаметром 400 – 430 мм. Толщина стенки муфты равна толщине стенки трубы, а диаметр – на 50 мм больше диаметра трубы. Если же трубопровод имеет диаметр более 300 мм, то ремонт производится в траншее с подъемом трубы на высоту 60 – 70 мм от дна траншеи.

Для некоторых видов трубопроводов текущий ремонт [25] включает, кроме рассмотренных выше мероприятий, следующие работы:

- для *воздуховодов сжатого воздуха*: очистка от масляных отложений 5 %-ным раствором каустической соды с последующей промывкой горячей водой; ремонт маслоотделителей;
- для *отопительных сетей*: промывка системы трубопроводов; замена отдельных труб радиаторов и регулировочной арматуры; ремонт сливных труб, воздушников и расширительных баков;
- для *наружных трубопроводов*: ремонт металлических опор эстакад и ремонт колодцев; проверка и ремонт пожарных гидранасосов;
- для *канализационной сети*: ремонт системы трубопроводов, нейтрализаторов, жируловителей, замена крепежных деталей, ремонт и частичная замена электроаппаратуры в электрозащитном устройстве.

Текущий ремонт включает работы по устранению дефектов водоподогревателей и запорной арматуры.

Ремонт водоподогревателей: осмотр змеевиков емкостных подогревателей, частичная замена трубок, замена прокладок и крепежных деталей.

2.5.4. Капитальный ремонт трубопроводов

Капитальный ремонт трубопроводов включает все мероприятия по текущему ремонту, а также следующие работы: разборка и удаление трубопровода, пришедшего в негодность, а также прокладка нового в размере более 20 % протяженности данного участка трубопровода; полная замена арматуры, фланцев, прокладок сальниковых компенсаторов, подвижных и неподвижных опор; полное восстановление антикоррозионного покрытия и термоизоляции; гидравлическое испытание на прочность и плотность со сдачей местным органам Ростехнадзора; окраска трубопроводов в цвета, соответствующие их назначению [25].

После капитального ремонта трубопроводов проводится контроль качества работ, промывка и продувка, а затем испытания на прочность и плотность. Перед испытанием трубопроводы отключаются от оборудования, концы их заглушаются пробками. Контрольно-измерительные приборы также отключаются. В самых низких и в наиболее высоких точках трубопроводов монтируют штуцеры с вентилями – в низких для слива жидкости, а в верхних для выхода-входа воздуха (воздушники).

Испытания трубопроводов на прочность и плотность проводят до покрытия их антикоррозионной и тепловой изоляцией. Давление испытания должно быть равно 1,25 максимального рабочего давления, но не менее 0,2 МПа для стальных, чугунных, винипластовых и полиэтиленовых труб. Продолжительность испытания 5 минут, после чего давление снижается до рабочего. При этом давлении трубопровод осматривают, сварные швы обстукивают легким молотком. Затем открывают воздушники и сливают воду.

Режимы пневматических испытаний для стальных трубопроводов аналогичны гидравлическим, но без обстукивания сварных швов.

Пневматические испытания на прочность не проводятся для чугунных и пластмассовых трубопроводов, а также для трубопроводов на эстакадах и в действующих цехах. Если на трубопроводе имеется чугунная арматура, то пневматические испытания проводят при давлении не выше 0,4 МПа [21].

Некоторые виды трубопроводов имеют следующую специфику капитального ремонта [25]:

– *воздухопроводы*: замена маслоотделителей; ремонт осушителей воздуха и их перезарядка; определение утечки воздуха до и после ремонта;

– *наружные трубопроводы*: замена металлических колонн эстакад, подверженных сильной коррозии; замена верхнего покрытия теплоизоляции; перекладка верхней части колодцев, замена скоб и лестниц; ремонт шкафа электрозащиты трубопроводов, кабельных сетей, трансформатора, аппаратуры низкого напряжения;

– *канализационные сети*: проверка уклонов и при необходимости перекладка труб на магистральных участках, ремонт лотков и колодцев;

– *водоподогреватели*: полная разборка; очистка от накипи и других загрязнений; замена змеевиков и корпуса подогревателя.

Текущий и капитальный ремонты трубопроводов горячей воды и пара должны заканчиваться испытаниями согласно «Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды», а газопроводов – «Правилам безопасности в газовом хозяйстве».

2.5.5. Ремонт арматуры

Трубопроводная арматура и арматура сосудов, работающих под давлением, выходит из строя по причинам коррозии, забоин, вмятин от инородных тел на уплотняющих поверхностях и деформации корпуса.[21].

Устранение дефектов запорной арматуры может осуществляться или на месте ее установки без снятия корпуса, или централизованно в механической мастерской. Если арматура ремонтируется на месте ее установки, то извлеченный из корпуса механизм затвора с крышкой передается для устранения дефектов в механическую мастерскую. В случае повреждения корпуса арматура снимается с трубопровода или технологического оборудования и направляется для ремонта в мастерскую. Детали арматуры перед ремонтом подвергаются очистке, промывке и дефектации.

Демонтаж и ремонт арматуры – трудоемкие операции. Для механизации демонтажа используют поворотные кран-укосины, передвижные электрические лебедки, шахтные подъемники. При ремонте в механической мастерской применяют: стенды для разборки и сборки арматуры; токарные приспособления для обработки уплотнительных поверхностей корпусов и клиньев задвижек; станки для механической притирки; стенды для испытания пружин предохранительных клапанов; устройства для испытания на прочность и плотность клиновых задвижек; стенды для испытания и регулировки предохранительных клапанов. Ремонт задвижек, вентиля и предохранительных клапанов, естественно, отличаются друг от друга.

Задвижки. Ремонт задвижек включает следующие работы: восстановление изношенных уплотнительных поверхностей затвора; восстановление шпинделя и сопрягаемых с ним деталей; замена сальникового уплотнения; восстановление привалочных поверхностей фланцевых соединений; восстановление корпуса; гидравлические испытания.

Последовательность разборки задвижки такова: снятие маховика со шпинделя – демонтаж крышки – извлечение деталей – промывка и протирка деталей. Затем производится дефектация корпуса и деталей задвижки.

Дефектацию начинают с визуального контроля корпуса с целью выявления трещин, раковин. Затем используют для выявления дефектов корпуса просвечивающие рентгеновские методы, что позволяет находить дефекты, которые нельзя обнаружить визуально-измерительным контролем: шлаковые включения, пустоты и мелкие трещины.

Выявленные несквозные трещины разделяют на максимальную глубину (до чистого металла). Чтобы трещина не увеличивалась при последующей ремонтной заварке, на ее концах сверлят отверстия диаметром 8...10 мм. Затем после механической обработки кромок трещины и ее протравливания 10 %-ным раствором азотной кислоты производится заварка электродуговой сваркой с последующей зачисткой [21].

Дефектация деталей затвора проводится с целью проверки плотности запрессовки седла в корпусе и чистоты его поверхности. Если имеются царапины, задиры металла и забоины, то проверяют детали клапана и крепежные детали. Выявленные повреждения уплотнительных поверхностей устраняют обточкой, шлифованием и притиркой. Дефектные места глубиной более 0,5 мм разделяют, наплавляют на них металл и обрабатывают до необходимого размера. Повреждения глубиной менее 0,5 мм устраняют шлифовкой и притиркой. Дефектное седло, закрепленное запрессовкой, при ремонте вытачивается из корпуса и заменяется новым седлом, которое приваривается к корпусу. Если седло крепится в корпусе на резьбе, то при сохранившейся резьбе корпуса вворачивают новое седло. При большом износе резьбы ее растачивают и вваривают на это место новое кольцо. После ремонта корпус задвижки поступает на шлифовку и притирку колец. Уплотнительные кольца клиновых задвижек могут производиться не только на токарном, но и на горизонтально-расточном станке. Затем производят подгонку клина по корпусу задвижки с помощью наплавки и проточки на горизонтально-заточном и притирочном станке. В

случае ремонта по месту установки притирка колец корпусов и гнезд клапанов производится с помощью устройства, которое крепится на трубопроводе [21].

Поверхность уплотнительной части шпинделя должна быть зеркально гладкой, что достигается шлифовкой ее. Перед шлифовкой шпиндель очищают от ржавчины, грязи, остатков сальниковой набивки и промывают его в керосине или бензине. В том случае, если глубина дефектов менее 0,08...0,15 мм, притирку производят пастой ГОИ или шлифовальными порошками, разведенными в масле. Для шлифовки используют устройство, показанное на рис. 2.19.

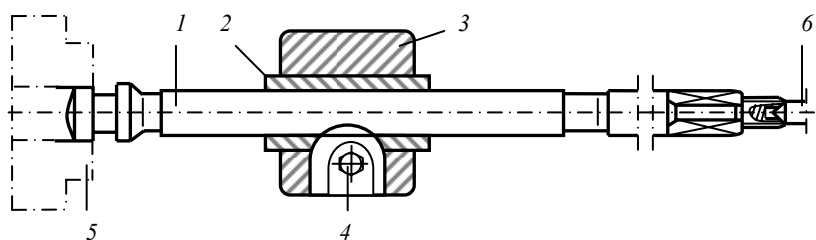


Рис. 2.19. Устройство для шлифования уплотнительной поверхности шпинделя:

1 – шпиндель; 2 – притир; 3 – обойма притира; 4 – сжимающий болт;
5 – трехлапчатый патрон токарного станка; 6 – центр задней бабки станка

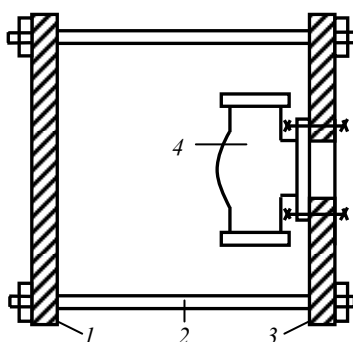


Рис. 2.20. Устройство для проточки седла клапана вентиля:

1 – фланец; 2 – шпилька; 3 – установочная плита; 4 – корпус вентиля

Вентили. Они ремонтируются аналогично задвижкам. Вентиль разбирают на стенде по соединению корпус-крышка. Детали вентиля подвергают чистке и промывке и проводят ремонтные операции, которые были описаны выше для задвижек. Седло может ремонтироваться и по месту установки вентиля притиркой наждачной бумагой. Для проточки седла можно использовать токарный станок и устройство, показанное на рис. 2.20.

Фланец этого устройства зажимается в патроне токарного станка, а корпус вентиля крепится к установочной плите болтами. На установочной плите 3 имеется ряд отверстий для крепления корпусов различных размеров.

Предохранительные клапаны. При дефектации предохранительных клапанов чаще всего выявляются следующие недостатки: повреждение уплотняющих поверхностей, нарушение соосности деталей, деформация пружин, загрязнения деталей. Повреждения предохранительного клапана могут привести к утечке продукта при давлении более низком, чем рабочее, и в случае переработки опасных продуктов это чревато тяжелыми последствиями.

Порядок разборки клапана следующий: снимается колпак; освобождается от натяжения пружина; снимается крышка; вынимаются пружина и золотник вместе со штоком; снимаются стопорные болты регулировочных втулок; извлекаются регулировочная втулка из корпуса и регулировочная втулка сопла клапана. Если имеются небольшие повреждения уплотнительных поверхностей, то они устраняются притиркой. В случае больших повреждений они исправляются проточкой поверхности на станке с последующей притиркой.

Пружины меняют на новые, если на них обнаружены вмятины, трещины, забоины и т.п. Опорные концы пружин должны быть плоскими на длине не менее $\frac{3}{4}$ витка [21]. Пружины испытывают трехкратным сжатием статической нагрузкой, вызывающей максимальный прогиб для выявления остаточной деформации. Кроме того, проводят испытание статической нагрузкой, равной максимальной рабочей нагрузке, контролируя при этом величину сжатия пружины. Предохранительный клапан можно испытывать на месте установки путем механического нагружения с целью определения усилия открывания клапана.

Если клапан работает при большом усилии открывания, то используют при испытании гидравлическое нагружение. Устройство для такого испытания представлено на рис. 2.21.

Конец штока устройства имеет резьбовую муфту для соединения этого штока со штоком клапана. Фланец клапана переходного стакана служит для соединения рабочего цилиндра с корпусом клапана. При испытании жидкость поступает в нижнюю полость рабочего цилиндра от грузопоршневого механизма. Усилие срабатывания предохранительного клапана определяют по манометру.

Арматура после ремонта должна быть испытана на прочность корпуса и крышки, а также на герметичность затвора, сальниковой набивки и прокладок. Арматуру испытывают гидравлически на специальных стендах, которые выпускаются серийно промышленностью [21]. Герметичность арматуры проверяется керосином и при этом в течение 5 минут не допускается просачивание керосина.

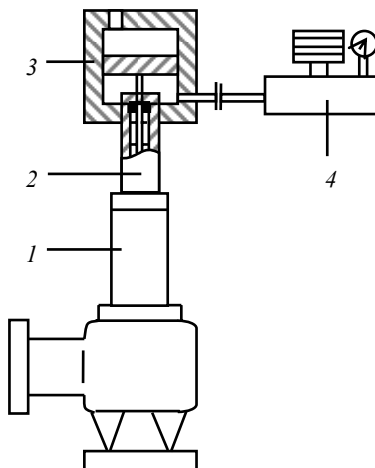


Рис. 2.21. Устройство для гидравлического испытания клапана:
1 – клапан; 2 – переходной стакан; 3 – рабочий цилиндр;
4 – грузопоршневое устройство с манометром

Контрольные вопросы к разделу «Основы ремонта трубопроводов»

1. *В чем заключается специфика очистки труб?*
2. *Какие Вы знаете приспособления для раздвижки фланцев и растяжки компенсаторов труб?*
3. *Какие мероприятия включает в себя капитальный ремонт трубопроводов?*
4. *С какой основной целью проводится дефектация затвора задвижки?*
5. *Какие способы испытания трубопроводной арматуры Вы знаете?*

2.6. РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В химической промышленности неметаллические материалы нашли широкое применение, поскольку они позволяют снизить затраты на ремонт оборудования, экономят применение дорогостоящих сплавов и металлов, уменьшают вес оборудования, расход смазки, стоимость изготовления деталей и т.д. Из неметаллических материалов, в частности из пластмасс, делают емкостную аппаратуру, трубопроводы, арматуру, подшипники скольжения, роторы насосов, шестерни, металлопластмассовые детали и т.п. Некоторые пластмассы целесообразно также применять в парах трения, поскольку такие пары могут работать без смазки.

Оборудование, изготовленное из пластмасс, обладает высокой стойкостью к коррозии, легко свариваются и склеиваются [21]. Однако, пластмассы обладают рядом недостатков: низкая термостойкость, склонность к влагопоглощению, большой коэффициент линейного расширения, низкая по сравнению со сталью механическая прочность.

Пластмассы широко применяют при ремонте оборудования для достижения следующих целей: восстановление размеров путем нанесения пластмасс на поверхность деталей, повышение износостойкости, снижение шума, повышение коррозионной стойкости. При ремонте пластические массы наносят на элементы оборудования литьем под давлением, горячим прессованием, а также вихревым, газопламенным и центробежным способами.

Например, восстановление деталей *литьем под давлением* (покрытие полиамидами) производится по следующей схеме. Перед восстановлением размеров металлической детали с нее снимается слой, который обеспечит в дальнейшем номинальный размер и одинаковую толщину наносимой пластмассы по всей поверхности детали с целью равномерного охлаждения полученного комплекса. Для реализации этого способа восстановления изготавливается пресс-форма, которая должна базироваться на детали (рис. 2.22).

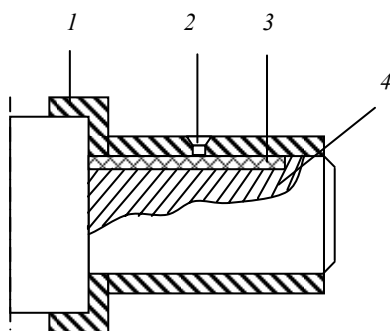


Рис. 2.22. Ремонт вала покрытием пластмассой:

1 – пресс-форма; 2 – отверстие для выхода воздуха; 3 – покрытие; 4 – вал

Пресс-форма базируется по неизношенной поверхности детали. Для проведения нормального режима нанесения пластмассы на поверхность детали необходимо обеспечить удаление воздуха. С этой целью в пресс-форме сверлят отверстия диаметром 0,2...0,3 мм или между частями пресс-формы предусматривают щели шириной 0,02...0,04 мм. Для реализации этого способа используют гидравлические или пневматические литьевые прессы с электроподогревом.

Метод нанесения пластмассовых покрытий литьем под давлением имеет ряд достоинств: простота изготовления пресс-форм и подготовки деталей, отсутствие механической обработки после нанесения покрытия, низкая стоимость восстановления. Восстановленные таким способом детали обладают высокой износостойкостью, могут работать без смазки при температуре менее 80 °С, поглощать вибрацию. Чтобы избежать некачественного покрытия детали (отслаивание пластмассы от металла, трещины и т.п.), необходимо применять высушенные гранулы исходного сырья и не перегревать полученный из них расплав. Если не удалось избежать появления трещин, то их можно устранить прогревом восстанавливаемой детали.

В ремонтной практике широкое применение нашли методы напыления пластмасс на поверхность деталей. *Газопламенный способ* напыления заключается в предварительном подогреве детали и нанесении на ее поверхность порошка пластмассы, подаваемого в газовое пламя. *Вихревой метод* реализуется в псевдоожигенном или виброкипящем слое порошка пластмассы. Псевдоожигенный слой порошка создается с помощью азота или воздуха (в зависимости от свойств пластмасс), а виброкипящий создается колебаниями, которые сообщаются рабочей камере установки от вибратора.

Реализация описанных методов состоит из подготовки детали (очистка и промывка; удаление острых кромок; нагрев до температуры, превышающей на 15...30 °С температуру плавления пластмассы), напыления пластмассы, охлаждения и, при необходимости, термической и механической обработки. Если на детали имеются места, не подлежащие покрытию, то они изолируются асбестом, фольгой, стеклотканью или покрываются кремнийорганическим лаком. Следует помнить:

– что в псевдоожигенном слое порошка можно получить покрытие толщиной 0,1...0,5 мм, а в виброкипящем слое – до 1 мм;

– термообработка покрытия применяется для повышения его твердости;

– газопламенные и вихревые методы напыления применяются только для термопластичных пластмасс.

При ремонте деталей используются также пластмассы холодного отверждения, например, стиракрил и бутакрил. Технология ремонта в этом случае такова. Полимер стиракрила (порошок) растворяется в мономере стиракрила (жидкость). Полученный однородный раствор самопроизвольно может полимеризоваться при температуре 20 °С и отвердевать за 0,5...1 час, поэтому его необходимо после приготовления наносить на подготовленную поверхность ремонтируемой детали методом литья

под давлением. Для уменьшения адгезии стиракрила к поверхности пресс-формы ее покрывают тонким слоем парафина или силиконового масла.

Пластмассы применяют для антикоррозионного покрытия деталей, арматуры и аппаратов. Например, покрытие клапанов вентилях, пробок чугунных кранов фторопластом проводится в электростатическом поле, создаваемом генератором. Фторопласт с наполнителем напыляют с помощью специального пистолета на детали, размещенные в электропечи. Напыление проводят послойно: после нанесения первого слоя происходит его оплавление при 260 °С в течение 40 минут, после чего наносится еще 2 – 3 слоя. Далее наносят последний слой из чистого фторопласта без наполнителя. Оплавление осуществляется при 290 °С в течение 2 часов. Затем печь отключают от электричества и детали остывают вместе с ней.

Антикоррозионное покрытие внутренних поверхностей аппаратов производится листовыми пластмассовыми материалами с применением соответствующего клея. Для ремонта повреждений покрытий применяют фаолитовую замазку и эпоксидные смолы. Для снижения хрупкости эпоксидных смол в их состав вводят пластификаторы (дибутилфталат, полиэфир, трикрезилфталат и т.п.). Для повышения прочности и адгезии в эпоксидные смолы вводят наполнители – порошкообразные и волокнистые материалы: кварцевая мука, песок, асбест, стекловолокно и т.д. [21].

Эпоксидные композиции используют и для заделки пробоин и сквозных коррозионных отверстий в стенках емкостных аппаратов (рис. 2.23).

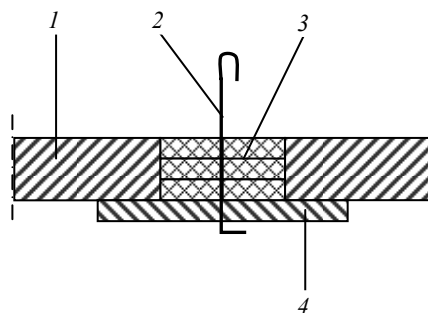


Рис. 2.23. Ликвидация отверстия эпоксидной смолой:
1 – стенка аппарата; 2 – проволока; 3 – эпоксидная композиция;
4 – поддерживающая пластина

Кроме восстановительного ремонта металлических деталей, пластмассы используют для изготовления оборудования, трубопроводов и арматуры. Изготовление и ремонт такого оборудования основан на свойстве большинства пластмасс размягчаться при нагреве, который осуществляется в термостатах и печах с электрическим, паровым или газовым обогревом. Режимы нагрева пластмасс следующие: оргстекло до 105...120 °С, винипласт до 130...150 °С, полиэтилен до 100...110 °С, текстолит до 150 °С. Эти пластмассы при указанных температурах могут изгибаться под действием собственного веса. Корпуса аппаратов из пластмасс собирают из отдельных заготовок, предварительно отформованных и просушенных. Заготовки при необходимости подвергают тем же видам механической обработки, что и металлы: фрезерованию, распиловке, точению, сверлению, шлифовке и полированию.

В химической промышленности широко применяются *пластмассовые трубы*, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с металлическими: малая масса при тех же размерах; высокая коррозионная стойкость; низкий коэффициент трения; стойкость к образованию отложений. Чаще всего такие трубы изготавливают из термопластичных материалов (полиэтилен, полихлорвинил, поливинилхлорид, винипласт, фторопласт), несмотря на то что они имеют меньшую прочность по сравнению с трубами из терморезистивных пластмасс. Установка пластмассовых труб связана с их резкой, формованием буртов и раструбов и изготовлением отводов. Для этих операций используют дисковые пилы, фрезы, электропечи и т.д. Для соединения концов труб применяют сварку, склеивание, резьбовое или фланцевое соединение. *Ремонт таких труб* производится с использованием материалов и некоторых приемов, которые были описаны выше.

В химической промышленности также используют и другие неметаллические материалы (резина, кожа, стекло), случаи применения которых описаны в [21].

Контрольные вопросы к разделу «Ремонт оборудования с применением неметаллических материалов»

1. *Какими свойствами обладает оборудование, изготовленное из неметаллических материалов?*
2. *Какие способы применяют для восстановления размеров металлических деталей с помощью пластмасс?*
3. *При какой температуре могут работать без смазки металлические детали, поверхность которых при ремонте покрыта пластмассой?*
4. *Как готовится металлическая деталь перед покрытием ее пластмассой?*
5. *Какими преимуществами обладают пластмассовые трубы по сравнению с металлическими?*

2.7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕМОНТЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Техника безопасности обеспечивается, прежде всего, подготовкой рабочего места: будь то централизованная, смешанная организация ремонтной службы на предприятии или ремонт по месту установки оборудования. Для этого должны быть предусмотрены свободные проходы, пути доставки деталей, инструментов и приспособлений, ограждение рабочей зоны, предохранительные и предупреждающие устройства.

При работе на высоте, как правило, должны использоваться инвентарные подмости и леса. В исключительных случаях с разрешения главного инженера эти устройства можно изготавливать индивидуально по утвержденному проекту. Нагрузка на них не должна превышать расчетную. Настилы должны снабжаться перилами высотой не менее 1 м, иметь поручни, борто-

вую доску высотой не менее 0,15 м и промежуточную горизонтальную планку. Рамы, стойки, лестницы крепятся к устойчивым конструкциям. Лестницы должны иметь наклон к горизонту не более 60°.

Особенно высокие требования предъявляются к подвесным и подъемным лесам: они должны быть испытаны под нагрузкой, превышающей расчетную в 1,5 раза; поддерживающие и рабочие канаты должны иметь девятикратный запас прочности [24].

Земляные работы (особенно машинами) производятся только с письменного разрешения руководства предприятия по установленной форме. Эта форма предусматривает согласования со службами: электроцеха, пожарной охраны, связи, транспорта и водоснабжения. Район проведения земляных работ обозначается знаками и указателями.

При ремонте оборудования электросварочные работы должны быть организованы в соответствии с ГОСТ 12.3.003–75 «Работы электросварочные. Общие требования безопасности» и Правилами пожарной безопасности при проведении сварочных и других огневых работ на объектах народного хозяйства. К сварочным и другим огневым работам допускаются специалисты, имеющие талон о проверке знаний требований пожарной безопасности. Сварщики проходят инструктаж по безопасности труда через каждые три месяца. Работы по электросварке во взрыво- и пожароопасных помещениях должны проводиться в соответствии с требованиями Типовой инструкции по организации безопасного ведения огневых работ, утвержденной Ростехнадзором. *Запрещается* проводить сварочные работы на открытом воздухе во время дождя и снегопада.

Места проведения постоянных огневых работ утверждаются приказом руководителя предприятия, а временных – письменным разрешением по специальной форме, подписанным лицом, ответственным за пожарную безопасность данного производства. Следует отметить, что разрешение выдается только на рабочую смену. В случае аварии сварочные работы проводятся без письменного разрешения, но под наблюдением руководителя подразделения. Места проведения огневых работ должны обеспечиваться средствами пожаротушения. После проведения огневых работ руководитель объекта или лицо, ответственное за пожарную безопасность, должен обеспечить проверку места проведения этих работ в течение 3...5 часов после их выполнения [24].

Баллоны с кислородом или горючим газом для газосварочных работ должны иметь на горловинах завинчивающиеся предохранительные колпаки. Баллоны при транспортировке как наполненные, так и порожние не должны подвергаться толчкам и ударам. Также они должны быть защищены от солнечных лучей и других источников тепла и удалены от горелок на расстоянии не менее 5 м.

Площадка, где установлены ацетиленовые генераторы, должна быть ограждена. Барабаны с карбидом необходимо открывать с помощью латунного зубила и молотка или специальным ножом, смазанным толстым слоем солидола. Применение медных инструментов для вскрытия барабанов запрещается. Барабаны из-под карбида необходимо предохранять от воды.

Емкостное оборудование, подлежащее вскрытию для ремонта, должно быть охлаждено, освобождено от продукта, отключено от действующей аппаратуры и трубопроводов. Затем это оборудование промывается, пропаривается острым паром, продувается инертным газом и воздухом. Оборудование вскрывается только в присутствии начальника смены и ответственного за проведение работ лица, которые проверяют готовность этого оборудования к вскрытию.

После вскрытия в аппаратах и емкостях можно работать только по письменному разрешению начальника цеха. Это разрешение выдается механику цеха или лицу, ответственному за проведение работ. Разрешение содержит данные о готовности оборудования к ремонту, особые меры безопасности при проведении работ, состав бригады исполнителей, срок действия этого разрешения, фамилию и должность лица, ответственного за производство работ. В разрешении указываются также длительность непрерывной работы в аппарате и порядок смены работающих. Осмотр, чистку и ремонт внутри оборудования производят лица мужского пола не моложе 20 лет, прошедшие медицинское обследование и проинструктированные о мерах безопасной работы на данном объекте. Ремонт оборудования делается бригадой, состоящей не менее чем из двух человек: один работает, а другой наблюдает за ним. В случае газоопасных работ наблюдающих должно быть двое. Воздух в оборудовании, перед входом рабочего вовнутрь, проверяется с помощью отбора и анализа проб на содержание токсичных и взрывоопасных веществ.

Работа внутри оборудования производится в тщательно пригнанном шланговом противогазе с отрегулированной подачей свежего воздуха. Рабочий перед входом в аппарат должен поверх одежды надеть пояс с крестообразными лямками и прикрепленной к ним сигнально-спасательной веревкой (длиной не менее 10 м), которая свободным концом надежно закреплена вне оборудования. Эта веревка служит также для простейшей связи между работающим и наблюдателем (дублером). Если температура в аппарате превышает 50 °С, то работать в нем *запрещается* [24]. Дублер всегда находится у люка аппарата и наблюдает за работающим, держа в руке сигнально-спасательную веревку. Наблюдающий должен быть снаряжен так, чтобы в любой момент он мог оказать работающему помощь и в случае необходимости извлечь его из аппарата. В период работы внутри оборудования необходимо систематически производить анализ воздуха в нем. В случае увеличения концентрации опасных газов в аппарате работы должны быть прекращены, а работающие удалены из него.

Выполнять ремонтные работы внутри оборудования следует проводить только неискрящим инструментом. Если требуется при ремонте внутри аппарата применение открытого огня, то такие работы можно выполнять только с письменного разрешения главного инженера предприятия. Это разрешение должно быть согласовано с местными органами пожарного надзора. Работы при этом выполняются строго по специально разработанной инструкции и при наличии акта освидетельствования оборудования на отсутствие опасных веществ в нем. Огневые ремонтные операции проводятся при полностью открытых люках и крышках. Оборудование должно быть заземлено до начала сварочных работ, а электрододержатель заблокирован с пускателем так, чтобы замена электрода могла производиться только при отключенном токе. Сварщик должен работать внутри оборудования в диэлектрических перчатках, калошах, изолирующем шлеме, каске, подлокотниках и наколенниках.

Значительный объем работ при ремонте приходится на такелажные операции. Поэтому необходимо знать основные правила безопасного выполнения этих работ. Перед подъемом и транспортировкой узлов и оборудования необходимо проверить исправность грузоподъемных механизмов. Кроме того, к ручной транспортировке узлов и деталей оборудования допускаются лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста и прошедшие медицинский осмотр. Следует помнить, что один человек может поднимать груз весом не более 500 Н [21].

Запрещается при работе грузоподъемных механизмов: находиться под поднимаемым грузом; отрывать краном оборудование от бетонной подливки, примерзшее к земле; допускать раскачивание груза; оставлять на длительное время груз в поднятом состоянии; исправлять во время работы лебедки неправильное наматывание троса на барабан; допускать полное

разматывание троса (на барабане должно оставаться не менее полутора витков троса). Если оборудование эксплуатируется с использованием электроэнергии, то перед его ремонтом необходимо отключить энергию, а на рубильнике повесить плакат «Не включать – работают люди».

Большой объем работ при ремонте приходится на слесарные операции, поэтому следует рассмотреть правила безопасного выполнения их. Стенды и слесарные верстаки на стороне, обращенной к другим рабочим местам и проходам, должны иметь ограждающую сетку высотой 600 мм. Перед выполнением ремонтных работ необходимо проверять исправность ручного инструмента и крепления его на рукоятках. Наравивание гаечных ключей трубами для увеличения крутящего момента *запрещается*. Станки для заточки должны иметь защитные предохранительные кожухи и прозрачный экран для защиты глаз от частиц абразива и металла. Также *запрещается* отворачивать и заворачивать гайки с помощью молотка и зубила.

При ремонте деталей на сверлильных станках необходимо выполнять следующие правила:

- а) деталь должна быть надежно закреплена на столе в тисках или приспособлении;
- б) стружку со стола нельзя удалять рукой;
- в) запрещается подавать охлаждающую жидкость смоченными обтирочными концами.

При ремонте оборудования в помещениях пониженной опасности можно применять электроинструмент на напряжении 127 или 220 В, а в помещениях повышенной опасности напряжение не должно превышать 36 В. В этом отношении пневмоинструмент более безопасен и может применяться в сырых помещениях, под дождем. Работать с пневмоинструментом необходимо в защитных очках и с установкой экранов для защиты от отлетающих кусков. *Запрещается* работать с электро- и пневмоинструментом на приставных лестницах.

При ремонте и испытании оборудования необходимо предусматривать меры, которые исключают повреждение действующего оборудования. Кроме того, *запрещается* проведение пневматических испытаний оборудования и трубопроводов без удаления работающих из опасной зоны; нельзя проводить одновременно огневые работы и работы, которые могут вызвать выброс взрывоопасных или горючих газов. Во время гидравлических и пневматических испытаний *запрещается* находиться персоналу рядом с аппаратом [21]. Пневматические испытания нельзя проводить в действующих цехах, на эстакадах и в каналах, где имеются работающие трубопроводы. Повышение и понижение давления при испытании производится плавно и медленно. *Запрещается* делать осмотр и освидетельствование во время повышения и понижения давления.

Испытания аппаратов и машин проводят в соответствии с техническими условиями, правилами и нормами для каждого вида оборудования. Перед испытаниями оборудования убирают вспомогательные приспособления, грузоподъемные механизмы, материалы и инструмент, а также посторонние предметы с вращающихся частей и из внутренних полостей аппаратов. Особое внимание уделяется токоподводящим и предохранительным устройствам, состоянию заземления, креплению фундаментных болтов.

Обкатка оборудования с приводами производится на холостом ходу и под нагрузкой. При этом *запрещается* устранять дефекты на ходу машины. В перерывах испытания машину отключают от источников питания и вывешиваются предупредительные таблички с надписями «Машина неисправна», «Вход не пускать».

При ремонте неметаллических деталей оборудования часто применяют токсичные вещества – ацетон, малеиновый ангидрид, бензин, четыреххлористый углерод и т.п. Токсичные вещества выделяются при ремонтной обработке пластмасс. Ремонтные работы с такими материалами должны проводиться в изолированных помещениях или в общих, но на специально выделенных и оборудованных вытяжной вентиляцией местах. Для ремонта следует брать минимально необходимое количество токсичных материалов, а рабочие должны быть в спецодежде, очках и респираторах.

Контрольные вопросы к разделу «Техника безопасности при ремонте оборудования»

1. *Какие требования предъявляются к месту для ремонта оборудования?*
2. *Какие требования предъявляются к подмосткам и настилам, которые используются при ремонте оборудования?*
3. *Каков порядок подготовки емкостного оборудования, подлежащего вскрытию для ремонта?*
4. *Каков порядок допуска и выполнения ремонтных работ внутри емкостного оборудования?*
5. *Какие правила безопасности необходимо соблюдать при работе на сверлильном станке?*

3. МУЛЬТИМЕДИЙНЫЙ КОМПЛЕКС – СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ

Внедрение новых информационных и телекоммуникационных технологий во все сферы жизни современного общества совершенно очевидно. Инженер должен владеть этими технологиями как будущий руководитель производственных подразделений и разработчик обучающих программ. Развитие этого процесса в сфере образования повлекло за собой множество методических, организационных и теоретических проблем. Здесь рассматривается только одна из них, а именно – структура электронного учебника с позиции ближайшей перспективы, которую обеспечивает процесс развития и совершенствования теории и техники информационных систем.

Конечная цель обучения состоит в том, что обучаемый должен владеть теоретическими основами изучаемого предмета, уметь применять их для решения конкретных задач и иметь навыки практического применения этого умения. Для достижения этих целей предусмотрены *лекции, практические занятия и лабораторные практикумы*. Эти виды занятий поддерживаются соответствующей литературой, причем практика преподавания выработала соответствующие виды изданий: учебник и учебные пособия – для изложения заданий, задачки и методические указания – для развития умения и навыков.

Какие же изменения уже произошли и происходят с этой дидактической триадой в связи с общим развитием системы знаний и информационных технологий? Их можно сформулировать следующим образом:

- инженерная практика требует интеграции знаний, придания им системного характера;
- современные технические средства в сочетании с пакетами прикладных программ позволяют избавить инженера от рутинных операций по применению известных теоретических методов для решения конкретных задач;
- сложность решаемых задач и ответственность за правильность принимаемых решений значительно повышают роль математического моделирования (имитационного, аналитического, численного) реальных объектов и процессов.

С этих позиций следует рассматривать требования к информационному обеспечению учебного процесса (этот термин имеет весьма общий характер, покрывая все источники, откуда обучающийся может получать информацию, необходимую для своего профессионального становления):

- информационное обеспечение должно обеспечивать *минимум информации*, необходимой для овладения специальностью или отдельной дисциплиной в объеме, предусмотренном образовательными стандартами, и в то же время должны быть предусмотрены возможности расширения области знания;
- нет смысла структурировать информационное обеспечение учебного процесса в соответствии с классической триадой (знания, умения, навыки);
- общая организация информационного обеспечения должна исключить (или, по крайней мере, свести к минимуму) участие *учителя* в обучении рутинным операциям профессиональной деятельности;
- условия работы с информационным обеспечением должны удовлетворять основным эргономическим требованиям;
- необходимо учитывать, что значительный объем информации хранится в форме баз данных и баз знаний, т.е. в форме электронных документов.

Одним из вариантов построения информационной системы обеспечения учебного процесса, удовлетворяющей перечисленным требованиям, может быть следующий. Основу системы составляет база данных – совокупность информационных массивов, каждый из которых является отдельным функционально законченным фрагментом информационного обеспечения (например, разделом учебника). Каждый такой фрагмент организуется таким образом, чтобы допускать управляемое логическое и техническое (программное) соединение с некоторой совокупностью других фрагментов. Это и будет электронный учебник, который представляет собой гипертекстовую систему с адаптивными связями между фрагментами, обеспечивающую возможность адаптивной компоновки нелинейного текста. Маршрутизация компоновки формируется навигатором, входящим в состав системы управления базой данных. Он дает указания компоновщику гипертекста об объединении соответствующих фрагментов. Управление навигатором осуществляется по нескольким контурам:

- 1) непосредственно пользователем в процессе работы;
- 2) пользователем по результатам анализа процесса обучения;
- 3) программой-анализатором по результатам автоматического тестового контроля знаний пользователя;
- 4) учителем по результатам личного общения с учащимся.

Какие же дополнительные (по сравнению с бумажным учебником) средства должны содержаться в электронном учебнике? Это, во-первых, система самопроверки знаний; во-вторых, электронный учебник должен удовлетворять требованиям совместимости с электронной экзаменационной системой. Естественно, все эти дополнительные электронные средства должны давать возможность организовывать сравнительно простые схемы дистанционного образования.

Обратимся к системе самопроверки знаний в электронном учебнике и рассмотрим, каким требованиям она должна удовлетворять:

- главное требование к системе самопроверки знаний (самоконтроля) заключается в том, что тестовых вопросов должно быть много и совокупность этих вопросов по содержанию должна охватывать весь материал учебника. Кстати, эти вопросы могут быть использованы для экзаменационного тестирования;
- вопросы должны подаваться испытуемому в случайном порядке. Это исключает возможность механического запоминания обучаемым последовательности вопросов;
- испытуемый должен каждый раз читать вопрос и осмысливать его, т.е. запоминать вопрос по смыслу, а не по порядку его следования или символу, его обозначающему;
- целесообразно всю совокупность вопросов распределить по темам, чтобы обучающийся мог проверить уровень усвоения им учебного материала после изучения каждой темы (а также организовать рубежный контроль знаний);
- компьютерный тест должен быть простым в использовании, представление вопросов на экране должно быть спроектировано дизайнером, а возможные действия обучающегося при ответе на вопрос продуманы эргономистом. В любом случае на экране должен быть минимум управляющих кнопок, и инструкции-подсказки по действиям обучающегося должны появляться только в нужное время в нужном месте, а не присутствовать на экране постоянно, загромождая его;
- тестовые вопросы и варианты ответов на них должны быть понятными по содержанию.

Технологии компьютерного образования не только стоят в одном ряду с традиционными формами обучения, но и являются главенствующими при дистанционной форме преподавания дисциплин, в экстернате, дополнительном профессиональном, кардинально меняют основную форму – очное обучение.

В нашем понимании электронный учебник как одна из форм технологии компьютерного обучения представляет собой набор мультимедиа-курсов (уроков) с анимацией, видео, звуковым сопровождением, записанных на CD-диске, и имеет хорошие технические возможности для реализации различных дидактических идей.

Электронный учебник, естественно, не сможет заменить общения с преподавателем. Дополнительно учащиеся должны иметь возможность изучать теоретическую часть курса – лекции, печатные материалы. В настоящем учебном пособии соединены традиционный печатный учебник и электронный. Подобный комплекс представлен в работе [27]. Этот комплекс разработан с учетом рекомендаций, представленных в ряде интересных работ [28 – 33], естественно не все рекомендации этих работ могут быть приняты безоговорочно. Например, нельзя согласиться, на наш взгляд, с одним из положений работы [28], где говорится о том, что учебное пособие может быть подготовлено на бумаге и продублировано в виде гипертекстового аналога на компьютере. Да, такое дублирование учитывает некоторые индивидуальные наклонности студентов, так как одни воспринимают текст с экрана лучше, чем с печатного листа, другие наоборот.

Электронный учебник, не исключая дублирования, должен содержать как можно больше иллюстрационных элементов, которые принципиально нельзя показать ни на доске, ни в печатном учебнике, ни на слайде (аудио-, видео-, анимационные материалы).

Такой электронный учебник вместе с традиционным печатным материалом будет соответствовать дуализму человеческого мышления [29] и способствовать изучению дисциплины на высоком уровне. В той же работе [29] и монографии [30] речь идет о когнитивной (т.е. способствующей познанию) компьютерной графике. На наш взгляд, это в полной мере относится и к электронному учебнику как составляющей части настоящего учебного комплекса.

Плодотворному восприятию учебного материала и созданию у студента необходимого эмоционального настроения также способствует гуманитарная оболочка обучающей программы [31]. Для достижения этой цели в нашем электронном учебнике предусмотрены музыкальные вставки и цвет для оформления изучаемого материала.

Глубокому анализу проблем гуманитаризации образования и решению вопросов психологического обеспечения процесса обучения посвящена работа [32].

Авторы указанной работы особо отмечают, что целью использования психологических средств в организации учебного процесса является создание и поддержание заинтересованности учащихся как самим ходом процесса обучения, так и его результатами. И далее, цитируя авторов: «Последние должны восприниматься учащимися не только как практически полезные сведения и навыки, необходимые для профессиональной работы, но и как фундаментальные идеи и положения, описывающие естественнонаучные, гуманитарные и культурные основы современного мира. Именно такой подход к гуманитаризации современного образования, по-видимому, должен являться одним из основных условий при получении техническими высшими учебными заведениями статуса технических университетов».

Авторы цитируемой работы также предупреждают создателей компьютерных обучающих программ об опасностях или ловушках общения между студентом и компьютером, «которые следуют из фундаментальных трудностей актов коммуникации». В основе этого лежит тот факт, что субъекты коммуникации преподаватель и студент принципиально не тождественны друг другу. «Они не обладают одинаковым внутренним миром, одинаковыми системами ценностей, одинаковыми приоритетами мотиваций, наконец, субъекты общения не имеют полной логической конгруэнтности». И как следствие этого, разработчик компьютерной обучающей программы невольно навязывает студенту свои приоритеты и свою систему навигации при изучении дисциплины.

Одним из опасных моментов при разработке электронного учебника является ориентация его на «среднего» студента без учета диапазона мотиваций обучения: от искреннего желания глубокого изучения дисциплины до «как бы сдать экзамен».

Серьезной опасностью, по мнению автора работы [29], является влияние компьютеризации инженерной подготовки на мышление студента. В процессе обучения необходимо делать упор на развитие инженерного «чутья», в основе которого находятся знания фундаментальных физических свойств технических объектов и процессов, умение глубоко анализировать эти свойства. «Чтобы строить адекватные математические модели, необходимо глубоко понимать физическую природу объектов моделирования».

Разрабатывая электронные учебники, необходимо учитывать специфику дисциплин. Например, рассматриваемый курс базируется на совокупности многих дисциплин, некоторые из них изучались студентами в первых семестрах и основательно забылись. Кроме того, обучаемые должны знать элементы тех дисциплин, преподавание которых не предусмотрено учебным планом («Основы промышленного строительства», «Монтаж технологического оборудования»). Поэтому только нетрадиционные методы представления изучаемого материала, в данном случае анимация, позволяют, как показывает опыт, успешно освоить такой курс. Результаты такого анализа и рекомендации, вытекающие из него, мы пытались реализовать при разработке мультимедийного комплекса.

Этот комплекс выполнен в среде Power Point программного пакета MS Office, позволяющей совмещать видеофайлы, звук, музыкальное сопровождение, текст, растровые файлы. Все это представляет учебный материал в различных формах и использует средства мультимедиа в полном объеме. Для работы с комплексом требуются компьютер IBM PC с процессором не ниже Pentium 166, ОЗУ 64 Мб, звуковая карта, 100 Мб свободного места на системном диске и полный программный пакет MS Office.

Такие высокие требования к компьютеру обусловлены наличием большого количества графической информации на некоторых виртуальных страницах, которая дается в совокупности со звуковым сопровождением. Многие анимации занимают несколько слайдов, которые «прокручиваются» автоматически.

Последовательность работы с учебником такова:

- запустить CD – щелчком левой кнопки мыши открыть файл «Основы монтажа и ремонта технологического оборудования»;
- нажать «начать показ» или клавишу F5.

При запуске основного файла, содержащего главное меню, он автоматически переписывает с CD в каталог TEMP системного диска (обычно это диск C). Этот файл содержит в себе гиперссылки, которые позволяют открывать файл с нужным курсом. При щелчке мыши на выбранной гиперссылке требуемый файл также переписывается в каталог TEMP системного диска. При выходе из какого-либо курса главное меню – файл, содержащий этот курс, автоматически из каталога TEMP стирается. Поэтому для нормальной работы программы требуется около 100 Мб свободного места. Мультимедийный комплекс на базе IBM PC состоит из главного файла меню, файлов, содержащих меню каждого курса, и файлов, содержащих курсы (уроки). Главный файл необходимо запускать для просмотра учебника, остальные файлы подгружаются автоматически по мере продвижения по учебнику.

При создании комплекса было выбрано несколько принципов представления учебного материала. Основополагающий принцип – максимальная замена текстовой информации на графическую (статическую и динамическую) и звуковое сопровождение.

Для гипертекстовых переходов используются активные слова, которые выделены цветом с тенью, кнопки, на которых написано название открываемого объекта и активные блоки.

Каждая тема комплекса выделена своим цветом. При открытии темы сначала показывается ее номер, затем цвет, название, после чего открывается меню темы. Из этого меню можно вызвать любой интересующий нас урок.

Представленные выше результаты анализа работ по созданию компьютерных обучающих программ, структура и методика разработки нашего мультимедийного комплекса могут служить элементами учебной дисциплины «Информационные технологии обучения», которую предлагает автор работы [27] включать в программы ФПК и учебные планы вузов: «Полученные знания понадобятся будущим специалистам, в потенциале руководителям различных подразделений на предприятиях и в организациях, квалифицированно решать вопросы подготовки и переподготовки кадров. К тому же, компьютерные обучающие системы становятся обязательным элементом при внедрении новых сложных машин и технологий. Поэтому их разработчики должны знать принципы создания и использования информационных технологий обучения».

Развитие информатики открывает новые, эффективные пути решения теоретических и практических задач в различных областях человеческой деятельности. Одной из таких задач является передача знаний от профессионала молодому специалисту, осуществляемая с помощью компьютера. Принято различать *декларативные* знания, т.е. знания о фактах, явлениях и закономерностях, и *процедуральные* знания, представляющие собой умение решать задачи. Процедуральные знания возникают на основе декларативных исключительно путем интенсивной практики. Обладание ими отличает квалифицированных специалистов (экспертов) от новичков.

Согласно исследованиям в области когнитивной психологии, человек достигает высот профессионального мастерства не ранее, чем спустя 10 лет интенсивной практики. За это время не только увеличивается объем его знаний, но и меняется их структура, стратегия мышления. Можно ли сократить этот срок, используя эффективные системы обучения? Как без искажений передать знания эксперта сначала этим системам, а затем и обучаемым? Как организованы эти знания?

Основными этапами создания такой системы обучения являются:

- построение базы знаний, которая позволила бы формальным образом с высокой точностью имитировать решения эксперта;
- создание на основе этой базы знаний интерактивной среды обучения, помогающей новичку приобрести устойчивые навыки решения задач, близкие к навыкам эксперта.

Построение базы знаний – наиболее трудоемкий этап разработки экспертных систем. Сложность и ответственность этой задачи даже обусловили возникновение новой специальности – инженера-когнитолога, работающего в контакте с экспертами и профессионально занимающегося построением баз знаний. Мы должны так построить процесс извлечения знаний, чтобы от эксперта не требовалась формулировка эвристических правил, чтобы была обеспечена возможность проверки полученных знаний на непротиворечивость, а сам процесс укладывался в разумные временные рамки. Разработанный специалистами Института системного анализа РАН метод экспертной классификации, предназначенный для построения полных и непротиворечивых баз экспертных знаний, вполне удовлетворяет этим требованиям [32].

После того как определен способ компактного представления знаний эксперта, необходимо переходить к исследованию проблемы эффективного обучения. Цель обучения – создание в долговременной памяти новичка подсознательных решающих правил, позволяющих ему действовать так же, как действует эксперт. При этом для обучаемого необходимо создание условий, в которых могут сформироваться подсознательные правила принятия решений, близкие к правилам эксперта. Обучение подсознательным решающим правилам – одно из направлений исследований в когнитивной психологии.

Обучение начинается с задач наименьшей сложности и заключается в самостоятельном решении большого количества задач методом проб и ошибок. Решающие правила эксперта, используемые в качестве эталона классификации, в явном виде обучаемому не сообщаются. Вместо этого при неправильном ответе предоставляются объяснения, аналогичные объяснениям эксперта своих действий.

Если испытуемый безошибочно решает достаточно длинную последовательность задач, то система повышает их сложность, предъявляя объекты следующего слоя. На основании данных о правильно и неправильно решенных задачах система строит прогноз решения для тех задач, которые еще не предъявлялись. При этом последующие задачи выбираются таким образом, чтобы как можно быстрее ликвидировать пробелы в знаниях обучаемого. Процесс обучения завершается, когда новичок способен уверенно решать задачи наивысшего уровня сложности, включая граничные объекты.

На наш взгляд, описание компьютерной системы обучения процедуральным знаниям свидетельствует о принципиально новых возможностях подготовки инженеров-механиков в тех областях, где от них требуются практические умения. Начинающие инженеры смогут за более короткий срок и ценой меньшего числа ошибок овладеть навыками монтажа, ремонта и диагностики химического оборудования, близкими к умению опытных инженеров-механиков. Эти навыки молодые специалисты могут дальше развивать и совершенствовать в ходе своей практики. Предлагаемый в данном учебном пособии мультимедийный комплекс защищен свидетельством [34].

Контрольные вопросы к разделу «Мультимедийный комплекс – составная часть учебного пособия»

1. *Какие дополнительные средства должны содержаться в электронном учебнике по сравнению с традиционным?*
2. *В какой среде выполнен предлагаемый мультимедийный комплекс?*
3. *Какой компьютер требуется для работы с мультимедийным комплексом?*
4. *С какой целью в текстовом материале комплекса выделяются слова особым цветом?*
5. *Какова последовательность работы с предлагаемым комплексом?*

ТЕРМИНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В УЧЕБНОМ ПОСОБИИ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ [5, 14, 19, 36]

Визуальный контроль – органолептический контроль, осуществляемый органами зрения.

Органолептический контроль – контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств.

Измерительный контроль – контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

Дефект – каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным нормативным документом.

Брак – объект контроля, содержащий недопустимый дефект.

Сварная конструкция – металлическая конструкция, изготовленная сваркой отдельных деталей.

Сварной узел – часть конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу узлы.

Сборочная сварная единица – часть свариваемого изделия, содержащая один или несколько сварных соединений.

Сварное соединение – неразъемное соединение деталей, выполненное сваркой и включающее в себя шов и зону термического влияния.

Сварной шов – участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации.

Основной металл – металл деталей, соединяемых сваркой.

Несплошность – обобщенное наименование трещин, отслоений, свищей, пор, включений.

Трещина – дефект в виде разрыва металла.

Включение – полость в металле, заполненная газом, шлаком или инородным металлом.

Пора – заполненная газом полость округлой формы.

Заусенец – острый выступ на краю металлического изделия.

Сосуд – герметически закрытая емкость, предназначенная для ведения химических, тепловых и других технологических процессов.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта до и после ремонта до перехода в предельное состояние.

Наработка – продолжительность непрерывной работы аппарата (в часах, годах).

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна.

Ремонт – восстановление поврежденных, изношенных или пришедших в негодность элементов объекта с доведением их до работоспособного состояния.

Техническое диагностирование – определение технического состояния объекта. Задачи технического диагностирования – контроль технического состояния, поиск мест и определение причин неисправности, прогнозирование технического состояния.

Контроль технического состояния – проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации.

Программа технического диагностирования (контроля технического состояния) – совокупность предписаний, определяющих последовательность действий при диагностировании (контроле).

Оборудование – собирательный термин, охватывающий все виды технологических агрегатов, машин, механизмов и других объектов.

Узел – разъемное или неразъемное соединение нескольких деталей.

Деталь – составная часть узла, изготовленная как одно целое и разделение которого на части невозможно без его повреждения.

Износ – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах (длина, объем, масса и др.).

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Эксплуатация – стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество.

Техническое обслуживание – комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия.

Текущий ремонт – ремонт, выполняемый для обеспечения (восстановления) работоспособности изделия и состоящий в замене или восстановлении его отдельных составных частей.

Капитальный ремонт – ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному ресурсу изделия с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые.

Мультимедийный комплекс – совокупность средств (цвета, звука, изображения, печати, анимации и т.д.) для более полного представления и усвоения информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпов, В.С. Структура и принципы проектирования объектов химической техники / В.С. Карпов, Е.А. Беленов, Ю.А. Новиков. – М. : МИХМ, 1984. – 136 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / под ред. В.В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2005. – 490 с.
3. Неразрушающий контроль металлов и изделий : справочник / под ред. Г.С. Самойловича. – М. : Машиностроение, 1976. – 456 с.
4. Политехнический словарь / гл. ред. И.И. Артоболевский. – М. : Советская энциклопедия, 1976. – 607 с.
5. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – М. : Из-во государственного унитарного предприятия «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – 101 с.
6. Моцохин, С.Б. Контроль качества сварных соединений и конструкций / С.Б. Моцохин. – М. : Стройиздат, 1985. – 233 с.
7. ГОСТ 20426-82. Методы дефектоскопии радиационные. – М. : Изд-во стандартов, 1982.
8. Потапов, А.И. Контроль качества и прогнозирование надежности конструкций из композиционных материалов / А.И. Потапов. – М. : Машиностроение, 1980. – 261 с.
9. ГОСТ 20415-82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения. – М. : Изд-во стандартов, 1982.
10. РД РОСЭК-001-96. Контроль ультразвуковой. Основные положения. – М. : Машиностроение, 1996. – 46 с.
11. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. – М. : Химия, 1989. – 463 с.
12. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : федер. закон от 21.08.1997 № 116 ФЗ.
13. РД 09-539-03.08. Положение о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М. : Госгортехнадзор, 2003. – 12 с.
14. РД 03-421-01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определения остаточного ресурса службы сосудов и аппаратов. – М. : Госгортехнадзор, 2002. – 130 с.
15. ПБ 03-246-98. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности. – М. : ПИО ОПБ, 2000. – 16 с.
16. РД 08-95-90. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти. – М. : Госгортехнадзор, 2001. – 28 с.
17. Воронкин, Ю.Н. Методы профилактики и ремонта промышленного оборудования / Ю.Н. Воронкин, Н.В. Поздняков. – М. : Академия, 2002. – 240 с.
18. Кормильцин, Г.С. Основы монтажа и ремонта технологического оборудования / Г.С. Кормильцин, О.О. Иванов. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2001. – 87 с.
19. Восстановление деталей машин : справочник / под ред. В.П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
20. Яцков, А.Д. Диагностика, монтаж и ремонт оборудования пищевых производств / А.Д. Яцков, А.А. Романов. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2006. – 120 с.
21. Ермаков, В.И. Технология ремонта химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шеин. – Л. : Химия, 1977. – 278 с.
22. Ермаков, В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шеин. – Л. : Химия, 1981. – 367 с.
23. Фарамазов, С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С.А. Фарамазов. – М. : Химия, 1980. – 311 с.
24. Шубин, В.С. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств / В.С. Шубин, Ю.А. Рюмин. – М. : КолосС, 2006. – 359 с.
25. Ящура, А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования / А.И. Ящура. – М. : Из-во НЦ ЭНАС, 2006. – 355 с.
26. Масловский, В.В. Основы технологии ремонта газового оборудования и трубопроводных систем / В.В. Масловский, И.И. Капцов, И.В. Сокруто. – М. : Высшая школа, 2004. – 319 с.
27. Дворецкий, С.И. Основы проектирования химических производств / С.И. Дворецкий, Г.С. Кормильцин, В.Ф. Калинин. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 280 с.
28. Соловов, А.В. Информационные технологии обучения в профессиональной подготовке / А.В. Соловов // Высшее образование в России. – 1995. – № 2. – С. 31.
29. Соловов, А.В. Компьютерная графика в инженерном образовании / А.В. Соловов // Высшее образование в России. – 1998. – № 2. – С. 90.
30. Зенкин, А.А. Когнитивная компьютерная графика / А.А. Зенкин ; под ред. А.А. Поспелова. – М. : Наука, 1991. – 261 с.
31. Курдюмов, Г.М. Использование гуманитарной оболочки в компьютерной технологии обучения / Г.М. Курдюмов, А.Г. Курдюмова // Высшее образование в России. – 1996. – № 1. – С. 126.
32. Кроль, В.Н. Психологическое обеспечение технологий образования / В.Н. Кроль, В.М. Мордвинов, Н.А. Трифонов // Высшее образование в России. – 1998. – № 2. – С. 34.

33. Ларичев, О.И. Новые возможности компьютерного обучения / О.И. Ларичев и др. // Вестник РАН. – 1999. – Т. 69, № 2. – С. 106 – 119.
34. Свидетельство о госрегистрации программ для ЭВМ № 2005611204 от 23.05.2005 г. Основы монтажа и ремонта технологического оборудования / Г.С. Кормильцин, В.И. Крячко, Д.А. Радионов.
35. Политехнический словарь / под ред. И.И. Артоболевского. – М. : Советская энциклопедия, 1976. – 608 с.
36. Абиев, Р.Ш. Основы квалитметрии в химической технике и технологии / Р.Ш. Абиев. – СПб. : Изд-во Менделеев, 2007. – 213 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ	4
1.1. Визуально-оптический контроль	4
1.1.1. Основные приборы визуально-оптического контроля ...	5
1.1.2. Организация визуально-оптического контроля (на примере визуально-измерительного)	8
1.2. Радиационные методы неразрушающего контроля	12
1.2.1. Физические основы радиационных методов контроля ...	13
1.2.2. Основные характеристики ионизирующих излучений ...	14
1.2.3. Оборудование для радиационных методов контроля ...	16
1.2.4. Детектирование при радиационном контроле	18
1.2.5. Радиационная безопасность	21
1.3. Акустические методы неразрушающего контроля	22
1.3.1. Излучение и прием ультразвука	25
1.3.2. Методы ультразвуковой дефектоскопии	28
1.3.3. Аппаратура и порядок проведения ультразвукового контроля	30
1.4. Магнитные методы неразрушающего контроля	33
1.4.1. Магнитопорошковый метод	34
1.4.2. Магнитографический метод	35
1.5. Капиллярные методы неразрушающего контроля	36
1.6. Испытания оборудования на прочность и плотность	37
1.7. Особые случаи диагностирования оборудования	39
1.8. Выбор методов диагностики оборудования	43
1.9. Основы определения остаточного ресурса работы оборудования	44
2. ОСНОВЫ РЕМОНТА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	49
2.1. Система технического обслуживания и ремонта	51
2.2. Организационно-техническая подготовка ремонта	55
2.3. Эксплуатационные повреждения оборудования	59
2.3.1. Износ деталей	59
2.3.2. Основные способы восстановления деталей [19 – 21] ...	61
2.4. Ремонт типового оборудования	66
2.4.1. Подготовка оборудования к ремонту	66
2.4.2. Ремонт реакционной аппаратуры	67
2.4.3. Ремонт теплообменников	72
2.4.4. Ремонт ректификационных колонн	75
2.4.5. Ремонт емкостного оборудования	77
2.4.6. Ремонт оборудования с вращающимися частями	78
2.4.7. Ремонт центробежных насосов	83
2.4.8. Ремонт компрессоров	85
2.5. Основы ремонта трубопроводов	87
2.5.1. Технология очистки труб	88
2.5.2. Техническое обслуживание трубопроводов	88

2.5.3. Текущий ремонт трубопроводов	89
2.5.4. Капитальный ремонт трубопроводов	92
2.5.5. Ремонт арматуры	94
2.6. Ремонт оборудования с применением неметаллических материалов	98
2.7. Техника безопасности при ремонте оборудования	102
3. МУЛЬТИМЕДИЙНЫЙ КОМПЛЕКС – СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ	106
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	116